AUTOMATIZACIÓN DE LA CONSOLA DE CORRIENTE ALTERNA EN EL LABORATORIO DE ALTA TENSIÓN UTILIZANDO COMPUTADOR PERSONAL

RAMIRO ALFONSO BAUTISTA PARRA
RODNY JAVIER ROJAS CALERO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
BUCARAMANGA
2004

AUTOMATIZACIÓN DE LA CONSOLA DE CORRIENTE ALTERNA EN EL LABORATORIO DE ALTA TENSIÓN UTILIZANDO COMPUTADOR PERSONAL

RAMIRO ALFONSO BAUTISTA PARRA
RODNY JAVIER ROJAS CALERO

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Electrónico

Director
JULIO CÉSAR CHACÓN VELASCO
Ingeniero Electricista – Magíster en Potencia Eléctrica

Codirector
ALFREDO ACEVEDO PICÓN

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
BUCARAMANGA
2004

Nota de aceptación

____

____

____

____

Director

____

Codirector

____

Calificador

____

Calificador

Bucaramanga, Agosto 26 de 2004



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

NOTA DEL PROYECTO DE GRADO

Nombre del Estudiante RAMIRO ALFONSO BAUTISTA PARRA		CÓDIGO 1972610
TITULO DEL PROYECTO AUTOMATIZACIÓN DE LA CONSOLA DE CORRIENTE ALTERNA EN EL LABORATORIO DE ALTA TENSIÓN UTILIZANDO COMPUTADOR PERSONAL		
CODIGO 2004017	FACULTAD INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS	CARRERA INGENIERÍA ELECTRÓNICA
CALIFICACIÓN CUATRO, SIETE (4.7)		CRÉDITOS 15

DIRECTOR DEL PROYECTO

NOMBRE DIR: JULIO CÉSAR CHACON VELASCO	FIRMA COD: ALFREDO RAFAEL ACEVEDO PICON

CALIFICADORES

		FECHA
F N JAIME GUILLERMO BARRERO PÉREZ	F N JORGE EDUARDO HIGUERA PORTILLA	A 2004 | M 10 | D 08

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

NOTA DEL PROYECTO DE GRADO

NOMBRE DEL ESTUDIANTE RAMIRO ALFONSO BAUTISTA PARRA		CÓDIGO 1972610
TITULO DEL PROYECTO AUTOMATIZACIÓN DE LA CONSOLA DE CORRIENTE ALTERNA EN EL LABORATORIO DE ALTA TENSIÓN UTILIZANDO COMPUTADOR PERSONAL		
REGISTRO No. 2004017	FACULTAD INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS	CARRERA INGENIERÍA ELECTRÓNICA
CALIFICACIÓN APROBADO		CRÉDITOS 15

DIRECTOR DEL PROYECTO

NOMBRE DIR: JULIO CÉSAR CHACÓN VELASCO	FIRMA COD. ALFREDO RAFAEL ACEVEDO PICÓN

CALIFICADORES

		FECHA
F N JAIME GUILLERMO BARRERO PÉREZ	F N JORGE EDUARDO HIGUERA PORTILLA	A 2004 | M 10 | D 08



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

NOTA DEL PROYECTO DE GRADO

Nombre del Estudiante RODNY JAVIER ROJAS CALERO		CÓDIGO 1982675
TITULO DEL PROYECTO AUTOMATIZACIÓN DE LA CONSOLA DE CORRIENTE ALTERNA EN EL LABORATORIO DE ALTA TENSIÓN UTILIZANDO COMPUTADOR PERSONAL		
CODIGO 2004017	FACULTAD INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS	CARRERA INGENIERÍA ELECTRÓNICA
CALIFICACIÓN CUATRO, SIETE (4.7)		CRÉDITOS 15

DIRECTOR DEL PROYECTO

NOMBRE DIR: JULIO CÉSAR CHACON VELASCO	FIRMA COD: ALFREDO RAFAEL ACEVEDO PICON

CALIFICADORES

		FECHA
F N JAIME GUILLERMO BARRERO PÉREZ	F N JORGE EDUARDO HIGUERA PORTILLA	A 2004 | M 10 | D 08

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

NOTA DEL PROYECTO DE GRADO

NOMBRE DEL ESTUDIANTE RODNY JAVIER ROJAS CALERO		CÓDIGO 1982675
TITULO DEL PROYECTO AUTOMATIZACIÓN DE LA CONSOLA DE CORRIENTE ALTERNA EN EL LABORATORIO DE ALTA TENSIÓN UTILIZANDO COMPUTADOR PERSONAL		
REGISTRO No. 2004017	FACULTAD INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS	CARRERA INGENIERÍA ELECTRÓNICA
CALIFICACIÓN APROBADO		CRÉDITOS 15

DIRECTOR DEL PROYECTO

NOMBRE DIR: JULIO CÉSAR CHACÓN VELASCO	FIRMA COD. ALFREDO RAFAEL ACEVEDO PICÓN

CALIFICADORES

		FECHA
F N JAIME GUILLERMO BARRERO PÉREZ	F N JORGE EDUARDO HIGUERA PORTILLA	A 2004 | M 10 | D 08

26 NOV. 2004

DEDICATORIA.

No podría designar con más certeza la fuente y el destino de mi dedicación. En su amor encontré la fuerza que batió las que prematuramente se avistaron como insalvables dificultades. En sus brazos cercene mis dudas y reinicie con más convicción.

Dedico este trabajo a ella, la que sonríe y llora conmigo viendo pasar alegrías y tristezas, aún antes que el destino me permitiera formar mis opciones. Por eso y mucho más, dedico mi esfuerzo a Ella, mi familia: Ramiro, Myriam, Alicia, Jenny, Ingrid, Wilmer y Crispin.

Poncho

DEDICATORIA

A mis padres, Eliseo y Rosita por el apoyo incondicional que me brindan cada día

A mi hermano Alex, su valor y fortaleza son un estímulo para realizar uno de mis sueños

A mi familia, que nos abrigaron en estos momentos difíciles

RODNY

AGRADECIMIENTOS

A Dios, nuestras familias y nuestros amigos que firmes con su apoyo acompañaron nuestro espíritu cuando la cotidiana confusión pretendió derribarlo o cuando la dificultad nos salpico de tristeza.

A nuestros profesores Julio César Chacón y Alfredo Acevedo que con su conocimiento dieron luz para el perfeccionamiento de la solución.

CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS

LISTA TABLAS

LISTA DE ANEXOS

TÍTULO: AUTOMATIZACIÓN DE LA CONSOLA DE ALTERNA EN EL LABORATORIO DE ALTA TENSION UTILIZANDO COMPUTADOR PERSONAL*

AUTORES: BAUTISTA PARRA, Ramiro Alfonso.
ROJAS CALERO, Rodny Javier.**

PALABRAS CLAVES: Alta tensión, laboratorio, LM629, LMD18200, LabView 6i, MC68HC908SR12.

DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO.

Con el propósito de mejorar el rendimiento y precisión de las pruebas que se realizan en el laboratorio de alta tensión de la UIS, se implemento un sistema motorizado controlado desde el computador para manipular y sensar la variación de tensión. Con esta adecuación se pueden efectuar ensayos de corriente alterna para elementos diversos como aislantes y pararrayos acordes a la normatividad que los rige, además de otras pruebas con fines académicos.

La implementación en hardware se centra básicamente en la variación rotacional de las tensiones a través del eje de la consola. Para lograr un control pleno en velocidad y posición del eje y consecuentemente de la variación de tensión se acopló el motor FB9M20E de la marca Minertia, y para su control se utilizó el LM629 de *National Instruments* que incorpora entre otros elementos un compensador digital PID. El sensado de las tensiones se realiza utilizando un divisor óhmico que nos permite registrar en el rango de 0 V a 284 V, tensiones que varían de 0 V a 300 kV. El registro de las tensiones se hace con una adecuación de la señal proveniente del divisor óhmico para ser leída a través del conversor analógico digital de 10 bits incorporado en el microcontrolador de Motorola MC68HC908SR12. Este microcontrolador digitaliza las tensiones acondicionadas y además regula la comunicación con el computador.

Para la interacción con el operador de los ensayos se diseñó una aplicación en el software de *National instruments* LabView 6i. La aplicación software permite la realización de ensayos de corriente alterna con control sobre la variación de tensión, así como de los interruptores que permiten el inicio y operación de las pruebas e incorpora elementos nuevos como el análisis de los resultados de forma grafica.

---

* Tesis de grado

** Facultad de ingenierías físico-mecánica. Ingeniería Electrónica. Julio César Chacón Velasco.

TITLE: **AUTOMATION OF THE CONSOLE OF ALTERNATES IN THE HIGH TENSION LABORATORY USING PERSONAL COMPUTER**[*]

AUTHORS: **BAUTISTA PARRA, Ramiro Alfonso.**
ROJAS CALERO, Rodny Javier.[**]

KEY WORDS: High voltage, laboratory, LM629, LMD18200, LabView 6i, MC68HC908SR12.

DESCRIPTION OF THE CONTENT.

With the purpose of improving the yield and precision of the tests that are carried out in the high tension laboratory of the UIS, it was implemented a motorized system controlled from the computer to manipulate and testing the variation of tension. With this adaptation rehearsals of alternating current can be made for diverse elements as insulating and lightning rod chords to the normative that governs them, besides other tests with academic ends.

The hardware implementation is centered basically in the rotational variation of the tensions through the axis of the console. To achieve a full control in speed and position of the axis and consequently of the variation of tension the motor FB9M20E of Minertia, was coupled and for its control the LM629 of National Instruments was used that incorporates among other elements a digital compensator PID. The tension measures is carried out using a dividing ohmic that allows to register in the range from 0 V to 284 V, tensions that vary from 0 V to 300 kV. The sensing of the tensions is made with dividing ohmic to be read through the digital analogical converter of 10 bits incorporated in the microcontroller of Motorola MC68HC908SR12. This microcontroller digitizes the conditioned tensions and also regulates the communication with the computer.

For the interaction with the operator of the rehearsals an application was designed in the software of National instruments LabView 6i. The application software allows the realization of rehearsals of alternating current with control on the variation of tension, as well as of the switches that allow the beginning and operation of the tests and incorporates new elements as the analysis of the results in a graphic way.

---

[*] Thesis
[**] Physical mechanics sciences Faculty. Electronic Engineering. Julio César Chacón Velasco.

INTRODUCCIÓN

El imponente avance de la tecnología brinda innumerables posibilidades de expansión, mejoramiento y adecuación; de este marco es claro que las instituciones educativas no se pueden abstraer y por lo tanto dentro de sus procesos formativos deben involucrar la modernización de los recursos didácticos y material con que disponen.

La automatización del banco de pruebas de corriente alterna es una respuesta a las dificultades que se presentan en el laboratorio de alta tensión, que van desde la habilidad del operario hasta la optimización del sensado de las variables que intervienen en los procesos.

El objetivo de este proyecto es automatizar las pruebas que hasta el momento se efectúan con operación manual y permitir el desarrollo de otras pruebas no normalizadas debido a la versatilidad en el cambio y sensado de tensión que con el proceso de automatización se tiene.

El banco de pruebas de corriente alterna del laboratorio de alta tensión es una poderosa herramienta para la caracterización de propiedades de los materiales, que indaga sobre los voltajes de aislamiento entre otras características eléctricas de los objetos sometidos a prueba, así como un elemento fundamental para el montaje de las diversas pruebas en corriente alterna que la industria del sector eléctrico exige para el equipamiento eléctrico del mismo.

1. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO DE PRUEBAS DE CORRIENTE ALTERNA EN ALTA TENSIÓN.

El banco de pruebas es un equipo donado por la UNESCO, las características de este y otros elementos como el transformador elevador el divisor óhmico y otros indispensables en la ejecución de las pruebas se describen en este capítulo.

1.1 TRANSFORMADOR ELEVADOR.

La elevación de la tensión corre por cuenta del transformador de Alta Tensión cuyas características se mencionan a continuación:

Marca: FOSTER
Tipo: TANQUE
Tensión nominal del primario : 500 V
Tensión nominal del secundario : 300 kV
Relación de transformación : 1 a 600
Potencia: 20 kVA
Corriente máxima del primario: 40 A
Corriente máxima del secundario: 67 mA

1.2 DIVISOR DE TENSIÓN ÓHMICO.

Consiste en una columna de carga resistiva, con una derivación.

R1 = 300 MΩ ± 10%
R2 = 350 kΩ ± 2% Valores nominales

Sin embargo, la relación teórica del divisor óhmico se ha modificado en el transcurso del tiempo. En la actualidad se dispone de una relación calibrada de tensión: 1055 V en alta: 1 V a la salida del divisor[1].

1.3 BANCO DE PRUEBAS.

El banco de pruebas es un Panel constituido por diversos elementos concentrados para su maniobra y operación. Consta de Autotransformador, contactores, Relé de sobrecorriente, interruptores y equipos de medida e indicadores (Ver figura 1.1 y figura 1.2).

Figura 1.1 Banco de pruebas

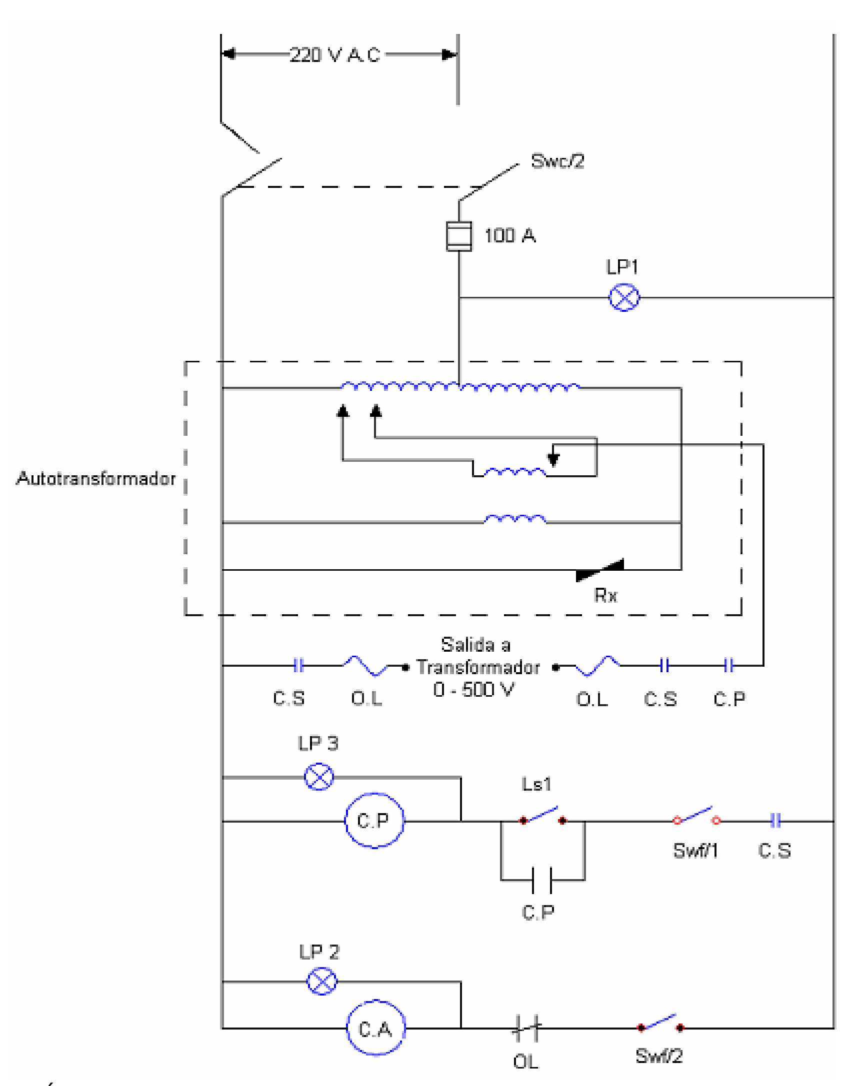
Sistema Automático de Tierra
Luz piloto de verificación interruptor principal
Interruptor de Enclavamiento de Puerta
Luz piloto de verificación de alto voltaje
Interruptor de alto voltaje
Manivela que desplaza *tap*
Interruptor Principal
Luz piloto de verificación cierre y apertura de Puerta

Fuente: Diseño de los autores

[1] VILA CASADO, Raúl. Medición de pérdidas corona y nivel de radiointerferencia en líneas cortas enmalladas. Tesis de Maestría. UIS. Bucaramanga 2004. Pág. 6.

En la figura 1.2 se presenta el esquema eléctrico de los accionamientos existentes en la consola de corriente alterna

Figura 1.2 Accionamiento existente en la consola de Corriente Alterna



Fuente: GONZÁLEZ, Sergio A. ROJAS, Ricardo. Automatización de la consola de Corriente Alterna para el laboratorio de Alta Tensión. Bucaramanga, 1996. Pág. 4

Los dispositivos que integran el accionamiento en la consola son:

- C.P: Bobina Contactor Principal
- C.S: Bobina Contactor Auxiliar
- O.L: Relé de Sobrecorriente
- Rx: Metrosil
- Swc/2; Interruptor Principal 100 A
- Ls1: Microinterruptor inicio de carrera
- Swf/1: Interruptor de alto voltaje
- Swf/2: Interruptor enclavamiento de puerta
- LP1: Luz piloto verificación interruptor principal
- LP2: Luz piloto verificación de cierre y apertura de puerta
- LP3: Luz piloto verificación de alto voltaje interruptor principal

1.3.1 Autotransformador (T1). Transformador (T2).[2]

Este autotransformador ha sido diseñado para regular el voltaje del transformador de Alta Tensión. Debe entregar una salida de 500 V máximo. Para la regulación de voltaje posee 25 derivaciones, conectados a contactos planos de cobre uno junto a otro, formando un anillo ancho, sobre una placa dieléctrica; concéntricos a éste, se encuentran dos anillos continuos planos de cobre. Estos anillos están conectados a cada arrollamiento del secundario del Transformador T2

Tensión nominal primaria:	220 V
Tensión nominal secundaria:	500 V
Torque estático eje:	0,04905 Nm

[2] CANTOR, John. RAMÍREZ, Néstor. Manual de seguridad en el laboratorio de Alta Tensión de la UIS. Bucaramanga, 2003. Pág. 27

El transformador T2 tiene el secundario dividido en derivaciones los cuales terminan conectados de igual manera que el autotransformador T1, a bornes planos. Estos forman un disco centrado con el anillo de contacto. Un brazo ajustado a un eje contiene el porta escobillas en el que se alojan dos escobillas de carbón, presionadas por resortes espirales para asegurar un contacto adecuado. Las escobillas conectan los derivaciones con el anillo y éste con la salida del transformador.

Este juego de contactos entre los dos transformadores permite dar una escala de valores más pequeños. Empleando sólo el autotransformador sus lecturas dan un paso de 25 V, mientras que con el juego de contactos se logra un paso de 1 V, lo cual conduce a tener un paso de 600 V en alta tensión.

Por medio de la manivela controladora de derivación que se observa en la figura 1.1, se efectúan los cambios de voltaje deseados para alimentar el transformador de alta tensión alterna.

1.3.2 Contactor principal

Su función es permitir aplicar tensión al transformador elevador; se energiza por el cambio de normalidad del interruptor de alto voltaje.

Tensión nominal:	660 V
Corriente nominal:	90 A
Tensión de bobina:	120 V a 60 Hz

1.3.3 Contactor auxiliar

Controla la acción del contactor principal, se energiza por el cambio de normalidad del interruptor Enclavamiento de puerta.

Tensión nominal:	660 V
Corriente nominal:	80 A
Tensión de bobina:	120 V a 60 Hz

1.3.4 Relé de sobrecorriente tipo térmico

Protege de sobrecorrientes a los dispositivos que constituyen la consola de corriente alterna, controla la acción del contactor auxiliar.

Tensión:	660 V
Corriente:	50 A

1.3.5 Interruptores, equipo de medida e indicadores

- Interruptor principal: Su función es la de cerrar la entrada al equipo de corriente alterna de alto voltaje, es decir, energiza la consola. Uno de los bornes va a conectarse con el fusible FS1 de 100 A, el otro va al transformador T1 directamente.

  Especificaciones: 440 V
  100 A
  Tipo sólo para AC
  Manufactured of Santon Ltd.
  England.

- Interruptor de alto voltaje: Permite aplicar tensión al primario del transformador elevador.

- Interruptor enclavamiento de puerta: no permite la apertura de la puerta de la sala de alta tensión cuando se encuentre activado.

- Manivela desplazadora de derivación: Mecanismo que acciona el sistema variador de tensión.

- Luz piloto de verificación interruptor principal.

  Especificaciones: Lámpara de Neón
  Marca *PHILIPS*
  Voltaje 240 V

- Luz piloto de verificación cierre y apertura de puerta y enclavamiento contactor principal

  Especificaciones: Lámpara de Neón
  Marca *PHILIPS*
  Voltaje 240 V

- Sistema automático de tierra (fuera de servicio)[3]

- Voltímetro analógico:

  Especificaciones: Marca *FOSTER*
  Modelo 50
  MI 50/60 cps
  Escala 0 –600 V

---

[3] GONZÁLEZ, Sergio A. ROJAS, Ricardo. Automatización de la consola de Corriente Alterna para el laboratorio de Alta Tensión. Bucaramanga, 1996. Pág. 8

- Amperímetro: Hierro móvil. Es usado para medir la intensidad de entrada al transformador de Alta Tensión

  Especificaciones: Marca *FOSTER*
  Modelo 50
  MC 50/60 cps
  FSD 6 A.
  Escala 0-48 A, con transformador de corriente 8 a 1.

1.4 SISTEMA DE VARIACIÓN DE TENSIÓN.

Para efectuar cualquier tipo de prueba, se debe cerrar la puerta de acceso a la sala de alta tensión y llevar la manivela desplazadora de derivación a la posición inicial, tope en sentido antihorario, garantizando que el inicio de carrera está activado y la prueba se inicializa en cero Voltios.

Se energiza la consola por medio del interruptor principal, verificando la presencia de energía en la consola, luz piloto "*MAINS ON*", encendida. Seguidamente se enclava la puerta de la sala de alta tensión con el interruptor de cierre y apertura de puerta, verificarlo con la luz piloto "*DOOR LOCKED*", encendida, por último se cierra el interruptor de alto voltaje y se verifica con la luz piloto "*HV ON*", encendida; quedando así lista la consola para aplicar tensión al elemento de prueba.

La variación de tensión en el transformador de alta tensión se hace mediante el desplazamiento circular en forma continua del derivación en el autotransformador, permitiendo incrementar la tensión a la salida del autotransformador voltio a voltio. Este desplazamiento se realiza con la manivela, la cual se debe accionar rápida o lentamente, dependiendo de

la rata de crecimiento de tensión necesaria en la prueba. Este es el proceso que se pretende automatizar según el tipo de prueba a realizar.

1.5 TIPOS DE ENSAYOS REALIZADOS EN CORRIENTE ALTERNA EN EL LABORATORIO DE ALTA TENSIÓN.[4]

En este apartado se describen las distintas pruebas que se realizan en el laboratorio de alta tensión con el sistema elevador de tensión. El reconocimiento de los diferentes ensayos se hace con base en las pruebas más solicitadas por parte del sector eléctrico Colombiano para comprobar los diversos aislamientos en los equipos eléctricos.

1.5.1 Ensayo de aislamiento

- De Aislamiento Recuperable:
    - Tensión Sostenida: Puede ser en seco o bajo lluvia artificial. Se aplica tensión a una rampa constante hasta un valor máximo de tensión y se sostiene, según la norma correspondiente.
    - Tensión Flameo: Puede ser en seco o bajo lluvia artificial. Se aplica tensón a una rampa constante hasta que ocurre el flameo, según la norma correspondiente dependiendo el equipo a probar. Por ejemplo para aisladores se seguirá la norma NTC-1285.

---

[4] GONZÁLEZ, Sergio A. ROJAS, Ricardo. Automatización de la consola de Corriente Alterna para el laboratorio de Alta Tensión. Bucaramanga, 1996. Pág. 9

1.5.2 Ensayo de efecto corona

Se aplica tensión en pasos sucesivos y se monitorea la aparición de pulsos de tensión esporádicos o constantes que indiquen la presencia del fenómeno corona, en cada una de las diferentes aplicaciones de tensión.

1.5.3 Ensayo de Radiointerferencia (*RIV*)

Se aplica una tensión a rampa constante, hasta un valor de tensión, observando que no se superen los límites de voltaje de radiointerferencia permitidos según la norma correspondiente.

1.5.4 Ensayo a Pararrayos

- Tensión de cebado de corriente alterna para pararrayos de SiC: Se aplica tensión a una rampa constante hasta cebar el pararrayo, según la norma correspondiente, en este caso la norma NTC-2166.

Tensión de Reposición: Se aplica tensión a una rampa constante hasta cebar el pararrayos y se disminuye la tensión hasta que se recupere el punto de funcionamiento normal del pararrayos, según la norma correspondiente.

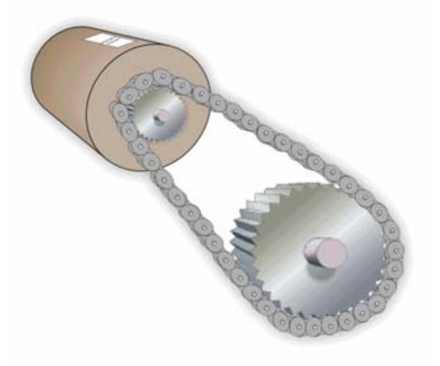
2. DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL

En este capítulo se describe la implementación hardware desde sus diferentes componentes así como los criterios y parámetros tenidos en cuenta para el diseño del sistema de control. En un apartado especial se especifican las características básicas del controlador del motor LM629[5]

2.1 CRITERIOS Y PARÁMETROS DE DISEÑO.

El sistema de desplazamiento de derivación del autotransformador de la consola es rotacional y se hace a través de un eje principal, por esta razón es indispensable realizar el control con un motor, en particular, un motor de corriente continua, el cual permite este mismo desplazamiento rotacional, como se observa en la figura 2.1

Figura 2.1 Acople mecánico del sistema de control



Fuente: Diseño de los autores

[5] NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. LM628/LM629 Precision Motion Controller. [en línea]. http://www.national.com/ds.cgi/LM/LM628.pdf

Se propone que el movimiento del motor, dependa del control realizado por computador, el cual programado en LabView 6i puede ajustarse a los tipos de prueba en AC que se realizan en el laboratorio de alta tensión. En el sistema global de control, intervienen tres dispositivos claves, que son el microcontrolador MC68HC908SR12, el procesador de control de movimiento LM629, y el puente H LMD18200.

Los ensayos realizados en corriente alterna requieren de incrementos lineales de tensión, cuyas pendientes se programan en LabView 6i, el microcontrolador interpreta el tipo de comando que el computador le ordena que realice, y el LM629 programa la posición, velocidad y aceleración que debe obtener el motor con el objeto de llevar a cabo el incremento lineal deseado.

La potencia necesaria que necesita el motor para ejecutar los cambios en posición, velocidad y aceleración, la entrega el puente H LMD18200, el cual está diseñado para aplicaciones de control de movimiento.

De esta manera está definido a grandes rasgos el sistema de control. Existen parámetros muy importantes como parada de emergencia, aislamiento, accionamiento y sensado de interruptores, interrupción por sobrecorriente, etc., que se detallarán en la parte final del capítulo, en el cual se explica los alcances del sistema de control.

Debido a que el rango de las pendientes de los incrementos lineales van desde 0,5 kV/s hasta 5 kV/s, se necesita que el sistema sea exacto, esto se consigue gracias al procesador de movimiento LM629, que permite posicionamiento con resolución menor a un grado, lo que equivale a 0,03 kV/s.

2.2 DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE

En este proyecto el hardware está compuesto por el acople realizado entre el motor y el sistema de desplazamiento de derivación del autotransformador, además de siete tarjetas[6] y un computador.

Las características de cada tarjeta y el computador son:

- **Tarjeta 1** Contiene las fuentes de alimentación del sistema de control, una fuente de 5 V para la etapa de control, una de 24 V para la etapa de potencia y las necesarias de + 12 V y – 12 V para la etapa de sensado de alta tensión.

- **Tarjeta 2** Sobre ella está el montaje del microcontrolador y del LM629. En esta tarjeta se realiza la interfase entre el computador y el microcontrolador.

- **Tarjeta 3** Maneja directamente la comunicación del motor, es decir, su alimentación, y los dos canales en cuadratura que se obtienen del *encoder*. Su ubicación es dentro de la consola, junto al acople mecánico entre el motor y el eje.

- **Tarjeta 4** Sobre ella está implementado el aislamiento entre los dispositivos, por medio de optoaisladores. Esta tarjeta también contiene el circuito de potencia, pues incluye el puente H y su interfase con el motor y el LM629. Además involucra el sensado de la alarma de sobrecorriente.

[6] El anexo B contiene el diseño de las siete tarjetas

- **Tarjeta 5** El control y sensado de los interruptores de alta tensión y enclavamiento de puerta se ensambla sobre esta tarjeta.

- **Tarjeta 6** Para lograr un óptimo funcionamiento del LM629, se debe llevar una señal de inicio de carrera a este dispositivo. Sobre la tarjeta 6 se obtiene esta señal por medio de un optoaislador por interrupción, ubicado cerca al eje de la consola.

- **Tarjeta 7** La realimentación de la tensión obtenida a la salida del divisor óhmico y su interfase con el conversor analógico/digital del microcontrolador.

El computador del laboratorio de alta tensión tiene las siguientes características:

- Microprocesador Pentium III 880MHz
- Disco Duro de 20 GB.
- Monitor 15"
- Drive de 3 ½ 1,44 kB.
- Teclado expandido 106 teclas
- 128 MB. de memoria RAM.

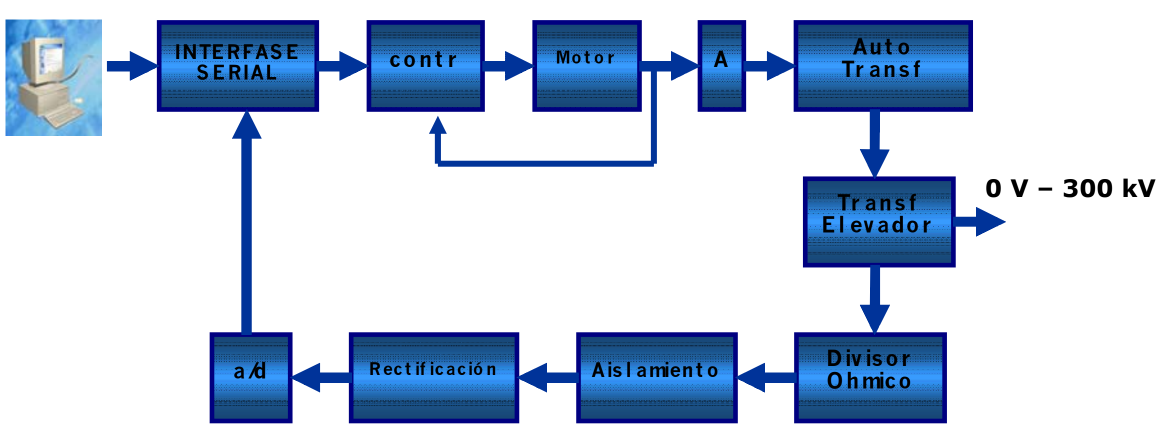
2.3 DIAGRAMA DE BLOQUES FUNCIONALES

En la figura 2.2 se observa el diagrama de bloques funcionales del sistema de control diseñado. La entrada para el sistema de control diseñado se introduce cuando el operario decide desde el computador el tipo de prueba en AC que se ejecutará, el bloque controlador (*driver*) lo comprenden el microcontrolador y el LM629, el bloque amplificador corresponde a la etapa de potencia (LMD18200) para proporcionar la

alimentación adecuada al motor. La realimentación para el bloque controlador consiste en las señales en cuadratura que proporciona el *encoder* del motor. Finalmente, a través del motor se aplica movimiento al eje principal de la consola, el cual controla la tensión en el autotransformador y a su vez al transformador elevador.

Los valores de tensión que se presentan en el material que se estudia, y que el operario necesita para el análisis de la prueba, se observarán en el computador gracias a la implementación de uno de los conversores analógico/digital que posee el microcontrolador, por intermedio de una interfase que realimenta la tensión del divisor óhmico.

Figura 2.2 Diagrama de bloques del sistema de control.



Fuente: Diseño de los autores

2.4 SELECCIÓN DEL MOTOR

Además del torque necesario para mover libremente el eje principal de la consola, el criterio de selección más importante de motor es la ambivalencia de velocidades pequeñas y altas, además de la posibilidad de controlarlas a bajo costo. Debido a la necesidad de variar la velocidad del eje de la

consola, la utilización de un motor de corriente continua de imán permanente, hace fácil la implementación del control.

El torque requerido para girar el eje de la consola fue medido utilizando pesas graduadas, y se obtuvo un valor de 0,14905 Nm.

El motor elegido el Minertia FB9M20E ofertado en el mercado local tiene características suficientes para cubrir los requerimientos básicos. El torque nominal del motor (ver anexo A) es 0,2062 Nm que es mucho mayor al de la consola. Además dispone de *encoder* incremental de 72 pulsos por revolución y una velocidad sin carga de 3500 rpm, todo a un costo moderado.

Los piñones que suspenden la cadena tienen una relación 1: 2,5 y son utilizados luego de los ajustes de diámetro con el eje del motor. Esta relación de ángulos implica que por cada 2,5° de giro en el motor, el eje del autotransformador se desviará 1°.

Para obtener una rata de crecimiento de 0,5 kV/s que es la mínima sugerida en los ensayos se requiere una variación de 13,8 °/s en el eje, y para el máximo sugerido que es de 5 kV/s se requiere una variación de 138 °/s.

El motor Minertia FB9M20E tiene características adecuadas para la implementación propuesta. Tiene una potencia cercana a los 49 W y puede manejar velocidades de hasta 3500 rpm lo que proporciona una velocidad máxima de retroceso igual a 23,3 rev/s que es una velocidad buena para los casos particulares de corto. Esta velocidad se ve reducida debido a que la velocidad de 3500 rpm es en vacío, sin embargo, la velocidad sigue siendo alta.

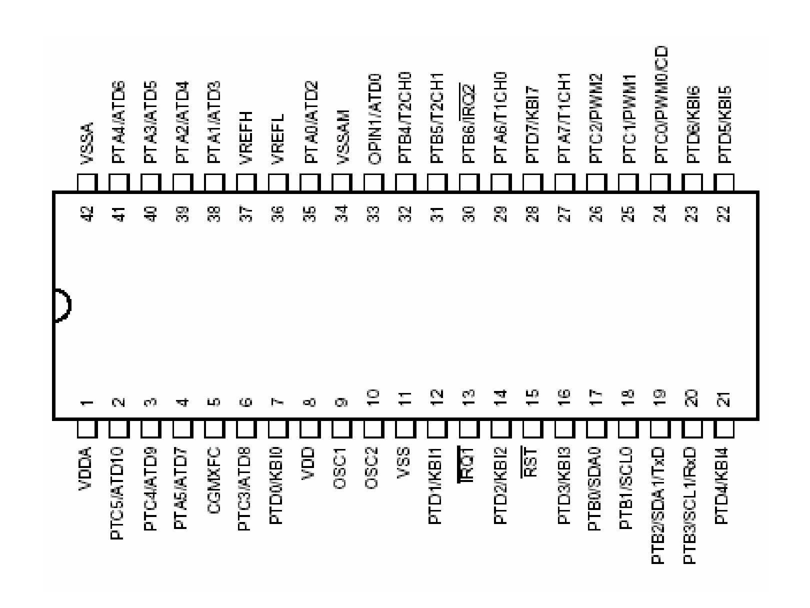
2.5 MICROCONTROLADOR MC68HC908SR12

Debido a las características del proyecto, se hace necesario utilizar un microcontrolador que tenga la capacidad de entregar algunas utilidades particulares como lo son:

- interfase SCI (interfase de comunicación serial)
- dos registros para interrupciones externas
- canales de conversión analógico/digital de por lo menos 10 bits cada uno
- posibilidad de manejar como mínimo 26 pines de entrada/salida

Para los efectos del proyecto, cualquier tipo de microcontroladores (Motorola, Microchip, etc.) ofrece las utilidades básicas mencionadas anteriormente. Se escogió la marca de microcontroladores de Motorola, debido a que su uso es muy difundido en la Universidad, a tal punto que el seminario que se ofrece en la Escuela se centra en esta clase de microcontroladores y cualquier tipo de asesoría se puede obtener con relativa facilidad. Después de indagar las diferentes familias de microcontroladores que ofrece Motorola (MC68HC12, MC68HC11, MC68HC08, etc.) se llegó a la conclusión que uno de los muy pocos microcontroladores que ofrecen todas estas utilidades mencionadas es el MC68HC908SR12, puesto que la mayoría de los demás microcontroladores no poseen la cantidad de terminales de entrada/salida necesarios para el sistema de control, o en su defecto, sus canales del conversor analógico/digital son de menos de 10 bits. Por esta razón y por su costo moderado, se seleccionó este microcontrolador, y a partir del mismo se implementó la comunicación por el puerto serial. Algunas de sus características más importantes son:


Figura 2.3 Distribución de terminales MC68HC908SR12



Fuente: MOTOROLA, Inc. MC68HC908SR12/MC68HC08SR12 Technical Data. [en línea]. http://www.freescale.com/files/microcontrollers/ doc/data_sheet/MC68HC908SR12.pdf

- Arquitectura de alto rendimiento
- Absoluta compatibilidad con otras familias
- Máxima frecuencia interna de bus (8 MHz a un voltaje de operación de 5 V y 4 MHz a 3 V)
- Opciones de entrada de reloj (oscilador RC o cristal)
- 12 kbytes de memoria FLASH con seguridad
- 512 bytes de RAM
- 3 canales de PWM de alta velocidad, de 8 bits con contadores independientes
- Módulo de interfase SCI
- 11 canales de conversor analógico/digital de 10 bits
- Sensor de corriente con amplificador programable
- Sensor de temperatura (-20 °C a 70 °C)
- 2 pines de interrupciones externas

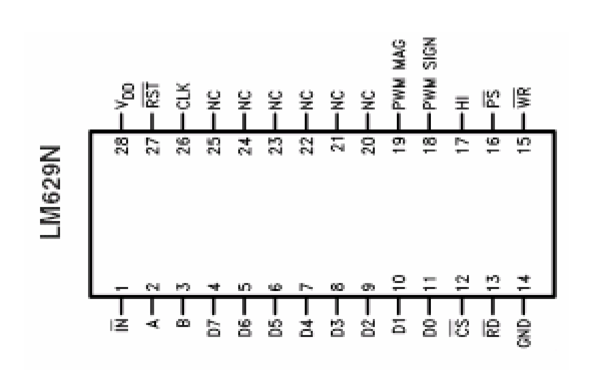
- 29 pines de propósito general (entrada/salida)
- Diseño de baja potencia
- Características de protección del sistema

2.6 CONTROLADOR (*DRIVER*) LM629

Dada la necesidad de exactitud y robustez en el sistema de control del motor, se incluye además del microcontrolador mencionado anteriormente, un dispositivo capaz de ejecutar en tiempo real tareas a velocidades que se manejan con el computador que se requieren para obtener un alto rendimiento en control digital de movimiento. Este dispositivo, el controlador de precisión de movimiento LM629 incluye además un filtro PID (proporcional/integral/derivativo) que puede ser reprogramado en cualquier instante de tiempo, lo cual es una gran ventaja, ya que de otra forma se necesitaría diseñar diferentes implementaciones en hardware cada vez que se desee lograr este objetivo. Otra ventaja importante, es que desde el computador se le cargan los parámetros de trayectoria del motor, es decir, la posición y velocidad deseada que el motor debe cumplir para lograr una prueba en corriente alterna determinada. El control de velocidad y/o posición se implementa mediante el controlador LM629, desde el cual se indican los parámetros de trayectoria del motor, y se encuentra en constante comunicación con el microcontrolador. Este dispositivo es un procesador dedicado al control de movimiento de motores de corriente continua, servomotores sin escobillas (*brussless*) o cualquier otro dispositivo que pueda emitir una señal incremental en cuadratura como realimentación de su estado. En este proyecto esta señal viene directamente de un *encoder* óptico incremental acoplado al eje del motor. La salida del controlador LM629 consiste en dos señales: una señal PWM de 8 bits y una señal para el sentido de giro; estas señales actúan sobre la etapa de potencia del motor implementada particularmente por el LMD18200.

2.6.1 Características del LM629N[7]

Figura 2.4 Distribución de pines del *driver* LM629N



Fuente: NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. LM628/LM629 Precision Motion Controller. [en línea]. http://www.national.com/ds.cgi/LM/LM628.pdf

- Registros de 32 bits para la posición, velocidad y aceleración de los motores.
- Filtro proporcional-integral-derivativo (PID) programable con coeficientes de 16 bits.
- Intervalo de muestreo de control derivativo programable por el usuario.
- Generador interno de patrones trapezoidales de velocidad.
- La velocidad, la posición objetivo y los parámetros del filtro se pueden cambiar durante el movimiento del motor.
- Funcionamiento en modo posición o modo velocidad.
- Servidor de interrupciones programable en tiempo real.
- Bus de datos paralelo asíncrono de 8 bits.
- Interfase para un *encoder* incremental con señal de índice.
- Empaquetamiento de 28 pines formato *DIP*.

[7] En el anexo A se encuentra La hoja de datos del LM629

Descripción de los terminales del LM629

En la figura 2.4 se observa la distribución de los terminales del LM629 que se enumeran y describen a continuación.

- P1 Entrada de índice. El *chip* lee por este terminal la señal índice del *encoder*.
- P2 y P3: Señales del *encoder*. Corresponden a los canales A y B del *encoder*. Reciben las dos señales en cuadratura que indican la posición en la que se encuentra el motor. Cuando el motor gira hacia adelante, la señal del terminal 2 adelanta en fase al terminal 3 en 90°.

Figura 2.5 Señales provenientes del *encoder*.

Fuente: NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. LM628/LM629 Precision Motion Controller. [en línea]. http://www.national.com/ds.cgi/LM/LM628.pdf

- P4 a P11: Bus de datos. Por estos terminales el chip se comunica con el servidor, que en el caso de esta aplicación será el PC. Este bus es bidireccional.

- P12: CS selector de chip. Se debe activar esta señal para realizar operaciones de lectura o escritura en el chip. Se activa en nivel bajo.
- P13: RD lectura. Debe activarse para realizar operaciones de lectura.
- P14: GND Tierra.
- P15: WR Escritura. Debe activarse para realizar operaciones de escritura.
- P16: PS Selección de puerto. Se emplea para seleccionar internamente el puerto de comandos (nivel bajo) o de datos (nivel alto) del chip.
- P17: HI Salida de interrupciones.
- P18: Señal de sentido de giro. Va directa a las etapas de potencia.
- P19: Señal de PWM. También va directa a las etapas de potencia.
- P20 a P25: No conectadas.
- P26: Señal de reloj. En el circuito, la señal de reloj que se puede usar puede oscilar entre 2 y 8 MHz.
- P27: Reset. Activa en nivel bajo.
- P28: Alimentación de 5 V.

El chip se basa en cuatro operaciones, a partir de las cuales puede ser programado.

Lectura del registro de estado.

El registro de estado dispone de información sobre como se van realizando las operaciones dentro del chip. Los bits de este registro son:

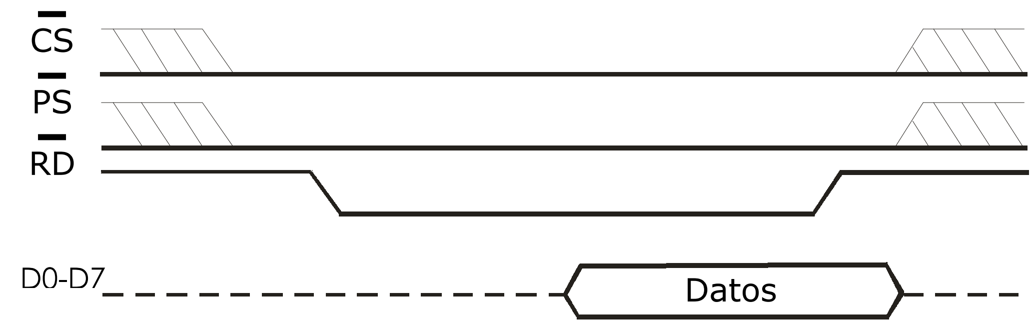
7	Motor apagado.
6	Alcanzando interrupción (breakpoint)
5	Error de posición excesiva (interrupción)
4	Se ha sobrepasado el limite de cuenta de la posición (interrupción)
3	Pulso de la señal de índice (interrupción).
2	Trayectoria completada (interrupción).

1 Error en un comando (interrupción).

0 Bit ocupado.

Para leer este registro, se debe tener en cuenta el diagrama de tiempos que se muestra en la figura 2.6:

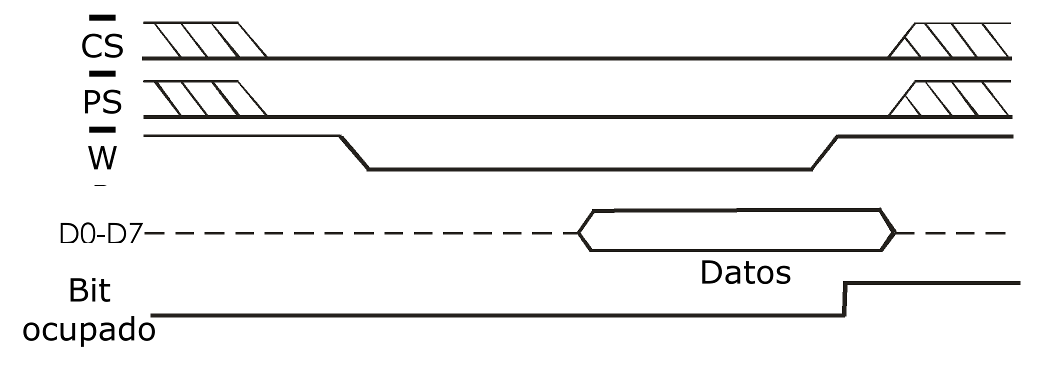
Figura 2.6 Temporización en la lectura del registro de estado



Fuente: NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. LM628/LM629 Precision Motion Controller. [en línea]. http://www.national.com/ds.cgi/LM/LM628.pdf

Para la escritura del registro, adicionalmente se debe observar el estado del bit 0 que indica la ocupación del LM629 según se observa en el diagrama de tiempos de la figura 2.7

Figura 2.7 Temporización en la escritura del byte de comandos



Fuente: NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. LM628/LM629 Precision Motion Controller. [en línea]. http://www.national.com/ds.cgi/LM/LM628.pdf

A diferencia de la lectura, ahora aparece un cambio en el bit de registro de estado denominado 'ocupado'. El cambio a uno del bit 0 del registro de estado indicara que el proceso de escritura ha sido concluido.

Los comandos que se pueden escribir son los siguientes:

Tabla 2.1 Conjunto de comandos de usuario del LM629

Comando	Tipo	Código	Descripción	Bytes Datos
RESET	Inicialización	00	Reset del chip	0
PORT8	Inicialización	05	Selecciona salida de 8 bits	0
PORT12	Inicialización	06	Selecciona salida 12 bits	0
DFH	Inicialización	02	Define origen de posición	0
SIP	Interrupciones	03	Paso del encoder por IN	0
LPEI	Interrupciones	1B	Interrupción por error	2
LPES	Interrupciones	1A	Parar si hay error	2
SBPA	Interrupciones	20	Situar breakpoint absoluto	4
SBPR	Interrupciones	21	Situar breakpoint relativo	4
MSKI	Interrupciones	1C	Enmascarar interrupciones	2
RSTI	Interrupciones	1D	Reset de las interrupciones	2
LFIL	Filtro	1E	Cargar parámetros filtro	2 a 10
UDF	Filtro	04	Actualizar parámetros filtro	0
LTRJ	Trayectoria	1F	Cargar trayectoria	2 a 14
STT	Trayectoria	01	Comenzar trayectoria	0
RDSTAT	Información	Ninguno	Leer el byte de estado	1
RDSIGS	Información	0C	Leer registro señales	2
RDIP	Información	09	Leer posición IN	4
RDDP	Información	08	Leer posición deseada	4
RDRP	Información	0A	Leer posición Real	4
RDDV	Información	07	Leer velocidad deseada	4
RDRV	Información	0B	Leer velocidad Real	2
RDSUM	Información	0D	Leer valor integral filtro	2

Fuente: NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. LM628 Programming guide. [en línea]. http:// www.national.com/an/AN/AN-693.pdf

Con las 23 instrucciones de la tabla 2.1 se puede programar cualquier operación.

Una vez se ha realizado una operación de escritura, hay que leer el bit ocupado (*BUSY*), y confirmar que se ha puesto en uno lógico, y garantizar así que la operación se ha completado y se puede desarrollar otra.

Este chip necesita un proceso de inicialización. Primero se verifica que el chip esté en reset. Posteriormente se inician las interrupciones (esto no se logra con el reset de hardware) y finalmente se configura el compensador PID del chip.

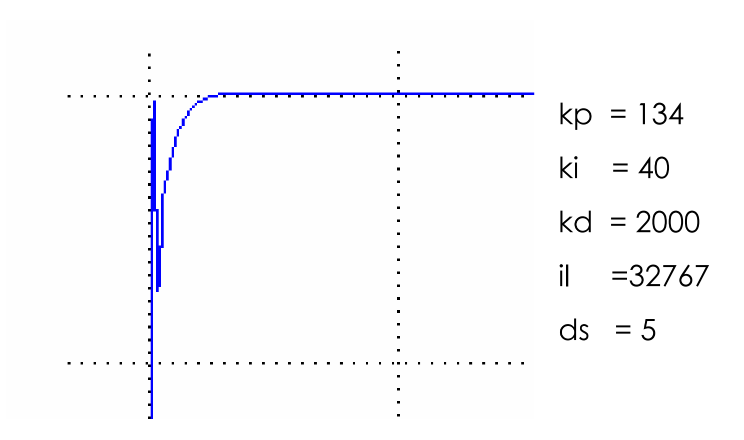
A continuación el chip esperará a que se introduzcan tantas palabras de datos como coeficientes se han indicado. Tales parámetros no serán efectivos hasta no cargar el comando *UDF* (actualizar parámetros del filtro).

Cargados los parámetros del filtro, se puede comenzar a ejecutar los comandos de control entre los cuales esta la trayectoria.

2.6.2 Compensador proporcional-integral- derivativo (PID)

El compensador PID incorporado en el LM629 se sintoniza mediante un proceso iterativo documentado en la guía de programación anexo D. Siguiendo los pasos enumerados en la guía se programo una aplicación en LabView para la sintonización y se obtuvo la respuesta al impulso observada en la figura 2.8.

Figura 2.8 Respuesta al escalón del sistema con el filtro PID



Fuente: Osciloscopio digital Fluke

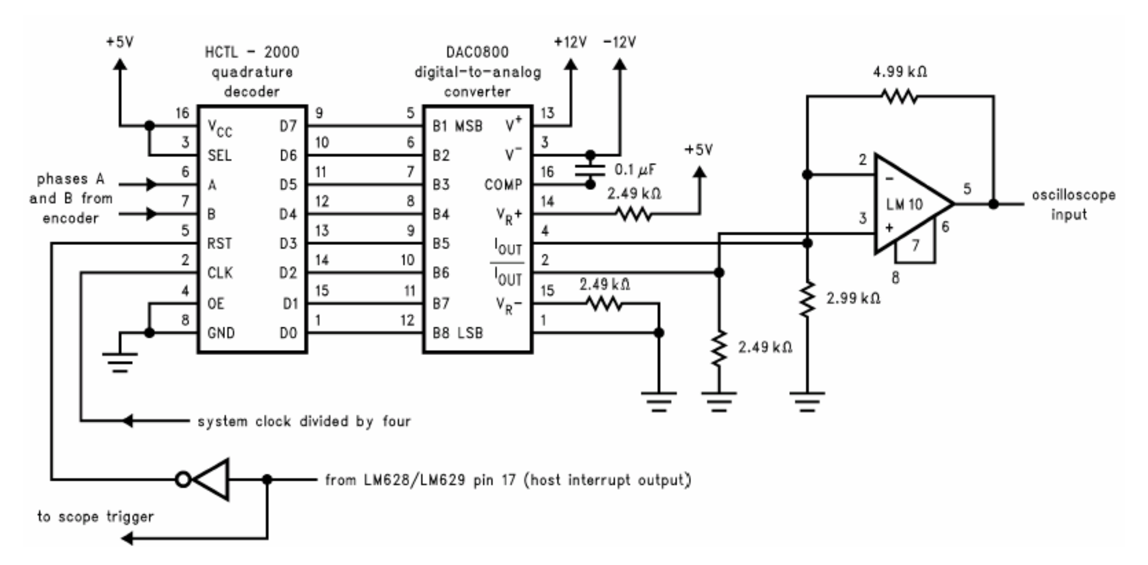
Donde kp corresponde a la constante proporcional, kd constante derivativa y ki constante integral del filtro, el valor denominado il es el limite impuesto al termino integral de 16 bits.

2.7 DECODIFICADOR EN CUADRATURA HCTL2000.

Para observar la respuesta al escalón del sistema de control basado en el controlador LM629, es necesario agregar elementos de hardware[8]. La figura 2.9 ilustra el diseño del circuito para este propósito. Durante un escalón, el voltaje a la salida de este circuito representa la respuesta al escalón del sistema, y un osciloscopio es usado para generar una gráfica de esta respuesta.

[8] Fuente: NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. LM628 Programming guide. [en línea]. http:// www.national.com/an/AN/AN-693.pdf

Figura 2.9 Circuito para la sintonización del filtro PID.



Fuente: NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. LM628 Programming guide. [en línea]. http:// www.national.com/an/AN/AN-693.pdf

El elemento central de este circuito es el decodificador de cuadratura HCTL200, el cual recibe como entradas los dos canales en cuadratura provenientes del *encoder* del motor, y las señales en cuadratura las transforma a valores de tensión de continua, los cuales son transformados a valores analógicos para su visualización por medio del conversor digital/analógico.

Este circuito forma un elemento clave en el sistema de control, debido a que su utilización es vital en el momento de la sintonización del filtro PID que incorpora el controlador LM629, del cual se logró una respuesta críticamente amortiguada para un óptimo rendimiento.

2.8 PUENTE H LMD18200.

La corriente de arranque del motor es cercana a los 3 A, este es el punto mas crítico en el que el circuito de potencia debe actuar. Además debe estar en capacidad de interpretar las señales que le entrega el microcontrolador LM629, es decir, manejar las velocidades de las señales de salida (PWM y signo). Se seleccionó el circuito integrado LMD18200, también de *NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION*, el cual es un puente H que maneja corrientes de 3 A, diseñado para aplicaciones de control de movimiento. Ideal para manejo de motores de DC o de paso; además permite corrientes de salida pico de hasta 6 A, y maneja entradas de PWM y de dirección, tal y como se requiere.

Las características del puente H LMD18200[9] son las siguientes:

- Entrega corriente de salida continua de mas de 3 A
- Opera con voltajes de alimentación de hasta 55 V
- Entradas TTL y CMOS compatibles
- Protección a cargas en corto
- Salida de advertencia térmica a 145 °C
- Apagado térmico (salidas en *off*) a 170 °C

Dentro de las aplicaciones más importantes se destacan:

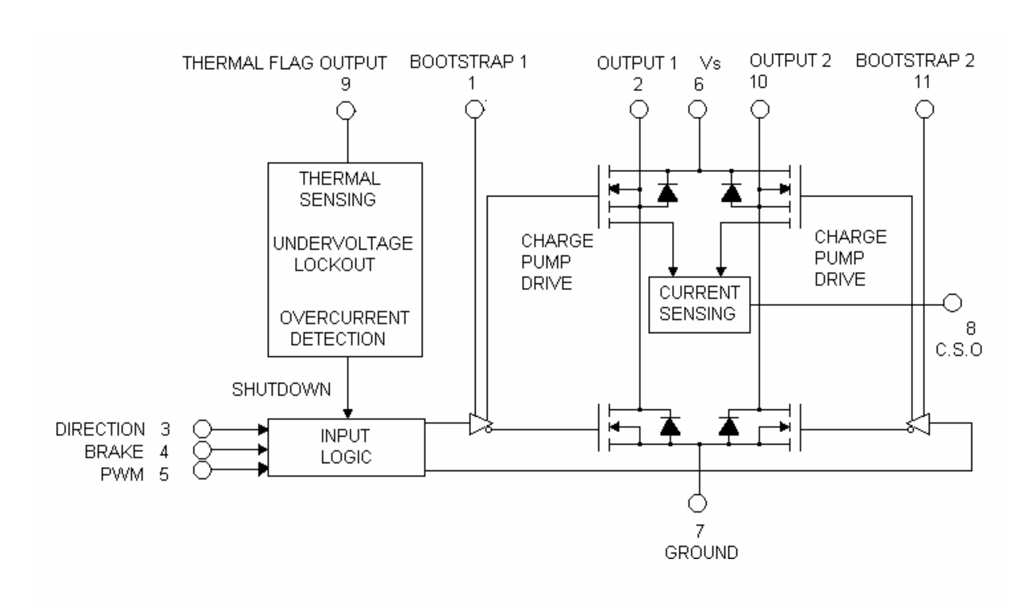
- Manejo de motores de CD y de paso
- Servomecanismos de posición y velocidad
- Automatización de robots
- Impresoras y *plotters*

[9] En el anexo A se encuentran los datos técnicos del LMD18200

2.8.1 Diagrama funcional

El siguiente es el diagrama funcional del puente H LMD18200 figura 2.10, utilizado para suministrar la potencia necesaria al motor Minertia FB9M20E empleado en el accionamiento del eje del autotransformador.

Figura 2.10 Diagrama de bloques del lmd18200

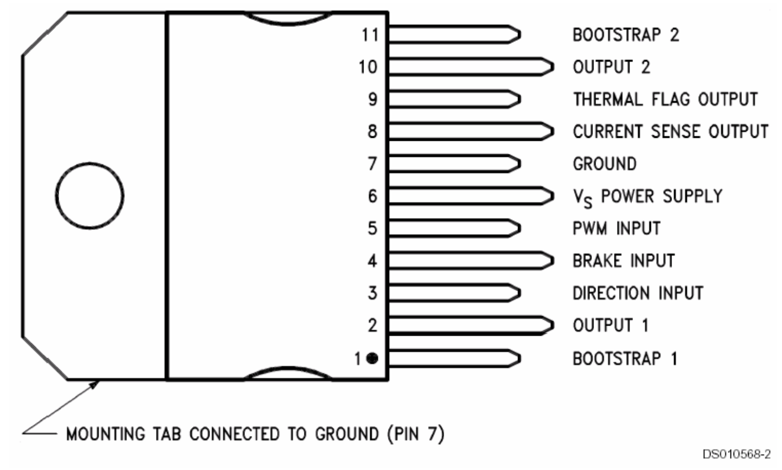


Fuente: NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. LMD18200 3 A, 55 V H-Bridge [en línea]. http:// www.national.com/ds/LM/LMD18200.pdf

En la figura 2.11 se pueden apreciar los terminales del LMD18200. Cada uno de los pines tiene una función determinada que a continuación se describe:

- Pin 1 *BOOTSTRAP1 Input* Pin de capacitor para la mitad del puente H número 1. El capacitor recomendado (10 nF) se conecta entre los pines 1 y 2

Figura 2.11 Distribución de pines del Puente H LMD18200



Fuente: NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. LMD18200 3 A, 55 V H-Bridge [en línea]. http:// www.national.com/ds/LM/LMD18200.pdf

- Pin 2 *OUTPUT 1* Salida de la mitad del puente H número 1

- Pin 3 *DIRECTION Input* Esta entrada controla la dirección del flujo de corriente entre los pines *OUTPUT1* y *OUTPUT2* (pines 2 y 10) y, por lo tanto, la dirección de rotación del motor

- Pin 4 *BRAKE Input* Esta entrada es usada para frenar el motor haciendo un corto efectivamente en sus terminales. Cuando se desea frenar, esta entrada es llevada a un nivel lógico alto y también es necesario aplicar un alto lógico a la entrada PWM en el pin 5

- Pin 5 *PWM Input* La forma como se usa esta entrada (y *direction input* en el pin 3) está determinada por el formato de la señal PWM

- Pin 6 VS *Power Suply* Fuente de alimentación

- Pin 7 *GROUND Connection* Es donde se conecta tierra

- Pin 8 *CURRENT SENSE Output* Este pin provee el sensado de la corriente de alimentación a la señal de salida

- Pin 9 *THERMAL FLAG Output* Provee la señal de salida de advertencia térmica. El pin 9 se activa en bajo a 145°C. Sin embargo, el chip no se cerrará por si sólo sino hasta los 170°C.

- Pin 10 *OUTPUT2* Salida de la mitad del puente H número2

- Pin 11 *BOOTSTRAP 2 Input* Pin de capacitor para la mitad del puente H número 2. El capacitor recomendado (10 nF) se conecta entre los pines 10 y 11

Los modos de operación del LMD18200 se describen en la siguiente tabla, en la cual se ven las combinaciones permitidas entre sus entradas (dirección, freno y PWM):

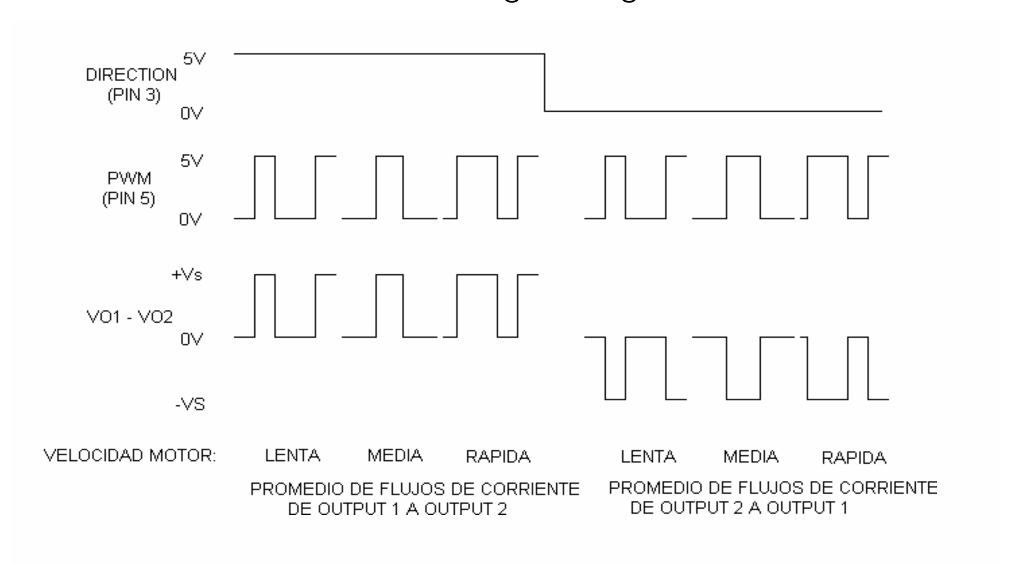
Tabla 2.2 Operación del LMD18200

PWM	Dir	Brake	Active Output drivers
H	H	L	Source 1, Sink 2
H	L	L	Sink 1, Source 2
L	X	L	Source1, Source 2
H	H	H	Source1, Source 2
H	L	H	Sink 1, Sink 2
L	X	H	NONE

Fuente: NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. LMD18200 3 A, 55 V H-Bridge [en línea]. http:// www.national.com/ds/LM/LMD18200.pdf

La figura 2.12 ilustra el control de velocidad por modulación de ancho de pulso (PWM), que entregará el LM629 al LMD18200, y que a su vez el puente H sometera al motor a la velocidad deseada a través de sus terminales 2 y 10:

Figura 2.12 Control con señales PWM signo/magnitud



Fuente: NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. LMD18200 3 A, 55 V H-Bridge [en línea]. http:// www.national.com/ds/LM/LMD18200.pdf

La señal de salida del LM629 es una señal PWM en formato signo magnitud como se observa en la figura 2.11. El LMD18200 recibe una señal PWM y como respuesta entrega una señal a su salida que tiene un valor de potencia coherente con los requerimientos de velocidad impuestos en la señal PWM por el driver.

2.9 DIVISOR DE TENSIÓN

El divisor de tensión óhmico descrito en el capítulo 1 nos entrega una tensión con la relación calibrada igual a 1055 V en alta por 1 después del mismo[10]. Este divisor resulta de la cascada de dos resistencias R1=300 MΩ y R2=350 kΩ, la tensión sensada se toma en paralelo a la resistencia R2. En seguida fue necesario implementar un segundo divisor de tensión resistivo con un factor de 56,87 en alta por 1 a la salida del divisor, para que del divisor de tensión al final entregue un voltaje en el rango admitido por el conversor analógico digital. El conversor recibe esta señal y nos entrega 10 bits que realimentan la información en el computador y registran la prueba y los requisitos preestablecidos por el usuario son verificados por la implementación software.

2.10 AISLADOR DE PRECISIÓN ISO122

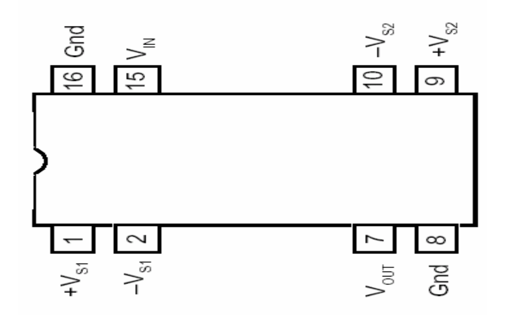
El voltaje de alta tensión es sensado luego de una etapa de aislamiento realizada con el amplificador de aislamiento ISO122[11] brindando seguridad al conversor analógico/digital y al computador.

El ISO122 es un amplificador de aislamiento galvánico, el cual desacopla la señal proveniente de la salida del divisor de tensión óhmico, de la señal que se sensa en el conversor analógico/digital.

En la figura 2.13 se observa la distribución de los terminales de este aislador, los demás terminales no se conectan.

[10] VILA CASADO, Raúl. . Op. Cit. Pág. 6.
[11] En el anexo A se encuentran los datos técnicos del ISO122

Figura 2.13 Distribución de pines del ISO122



Fuente: BURR-BROWN CORPORATION. ISO122 Precision Lowest Cost ISOLATION AMPLIFIER. [En línea]. http:// www.pci-card.com/iso122p.pdf

2.11 FUENTE DE ALIMENTACIÓN DEL CIRCUITO DE POTENCIA

Debido a que el circuito de potencia, y en general, todos los elementos que integran el sistema de control no tienen la necesidad de ser portátiles y debido a costos de importación no se desarrolló una fuente de alimentación conmutada. En cambio, los dispositivos de la fuente de alimentación lineal que se implementó se encuentran todos en el mercado local a un costo moderado. Esta fuente debe estar en capacidad de entregar una corriente de 3 A, debido a la corriente de arranque que el motor exige. Utiliza el circuito integrado LM350K, el cual permite variar la tensión de salida entre 1,2 y 33 V con corrientes hasta 3 A, con sólo variar el valor de una resistencia (R2). En la figura 2.14 se puede apreciar el diseño de la fuente de alimentación, junto con la descripción de sus componentes:

U1 - Circuito Integrado LM350K (ECG970)

D1 - Puente rectificador KBU4B o similar, que pueda manejar corrientes mayores a 3 A

D2, D3 y D4 - Diodos 1N4007

Figura 2.14 Fuente de alimentación del puente H LMD18200

D2
1N4007
U1
LM350
IN
OUT
COM
24V
T1
D1
C1
4700uF
R1
1k
D3
1N4007
R3
220
R2
4.33k
C2
10uF
C3
25uF
D4
1N4007

Fuente: Diseño de los autores

C1 - Condensador electrolítico (filtro) 4700 µF 50 V

C2 - Condensador electrolítico (filtro) 10 µF 50 V

C3 - Condensador electrolítico (filtro) 25 µF 50 V

R1 - Resistencia de 1 kΩ 1 W

R2 - Potenciómetro 5 kΩ lineal

R3 – Resistencia de 220 Ω 1 W

2.12 DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE DEL SISTEMA DE CONTROL

A continuación se describe el resultado final del diseño del sistema de control, se muestran los diagramas esquemáticos de la etapa de control y la etapa de potencia, y se realiza un cálculo aproximado de la disipación de potencia del sistema de control.

2.12.1 Diagrama esquemático de la etapa de control

La etapa de control consiste en el conjunto que conforman todos los dispositivos que hacen posible que se envíen los diferentes comandos a la etapa de potencia.

Estos comandos son las órdenes del operario necesarias para cumplir determinada prueba. Se originan desde la aplicación software (LabView 6i) y a través del microcontrolador y del LM629 se ejecutan dichas órdenes.
En la figura 2.16 se observa el diagrama esquemático de la etapa de control, se muestran al MC68HC908SR12 y al LM629. Además de ellos, se encuentra el MAX232, el cual realiza la interfase entre las tensiones que se manejan en el puerto serial del computador, y las tensiones que manejan los dispositivos con tecnología TTL.
Las tres compuertas NAND de tres entradas que incorpora el circuito integrado 74LS10 que se observa en la etapa de control se implementaron de la siguiente manera:

- Debido a que la interrupción IRQ2 del microcontrolador es activa en "bajo", es necesario negar este valor antes, ya que la señal de interrupción del LM629 es activa en "alto".

  Los terminales 3 y 4 del 74LS10 se conectan a 5 V, y el terminal 5 es el que recibe la señal del LM629 (terminal 17). La salida de esta compuerta es el terminal 6 y se conecta a la entrada IRQ2 del microcontrolador.

- Los terminales 9, 10 y 11 son las señales del sensor de presencia, del sensor de sobrecorriente y de la parada de emergencia, respectivamente. El diseño requiere que se ejecute una interrupción

cuando cualquiera de estas tres señales se active; las tres señales son activas en "bajo", por esta razón la salida de esta compuerta que es el terminal 8 se niega con la compuerta restante, terminales 1, 2 y 13. La salida total, terminal 12 se conecta a la interrupción IRQ1, la cual es activa también en "bajo".

El controlador LM629 requiere de una señal de reloj entre 1 MHz y 8 MHz para su funcionamiento. En un principio el diseño implicaba que esta señal se obtenía del microcontrolador, pero las pruebas realizadas dieron un resultado no óptimo de la señal que entregaba el MC68HC908SR12.

Estos resultados se confirman con el boletín de ingeniería EB396/D de Motorola[12], en el cual se direcciona el uso de la salida OSC2 como una señal de entrada de reloj para otros dispositivos, y concluye que no se debe usar esta como una salida de señal de reloj, debido a la inestabilidad y muy baja inmunidad al ambiente de trabajo.

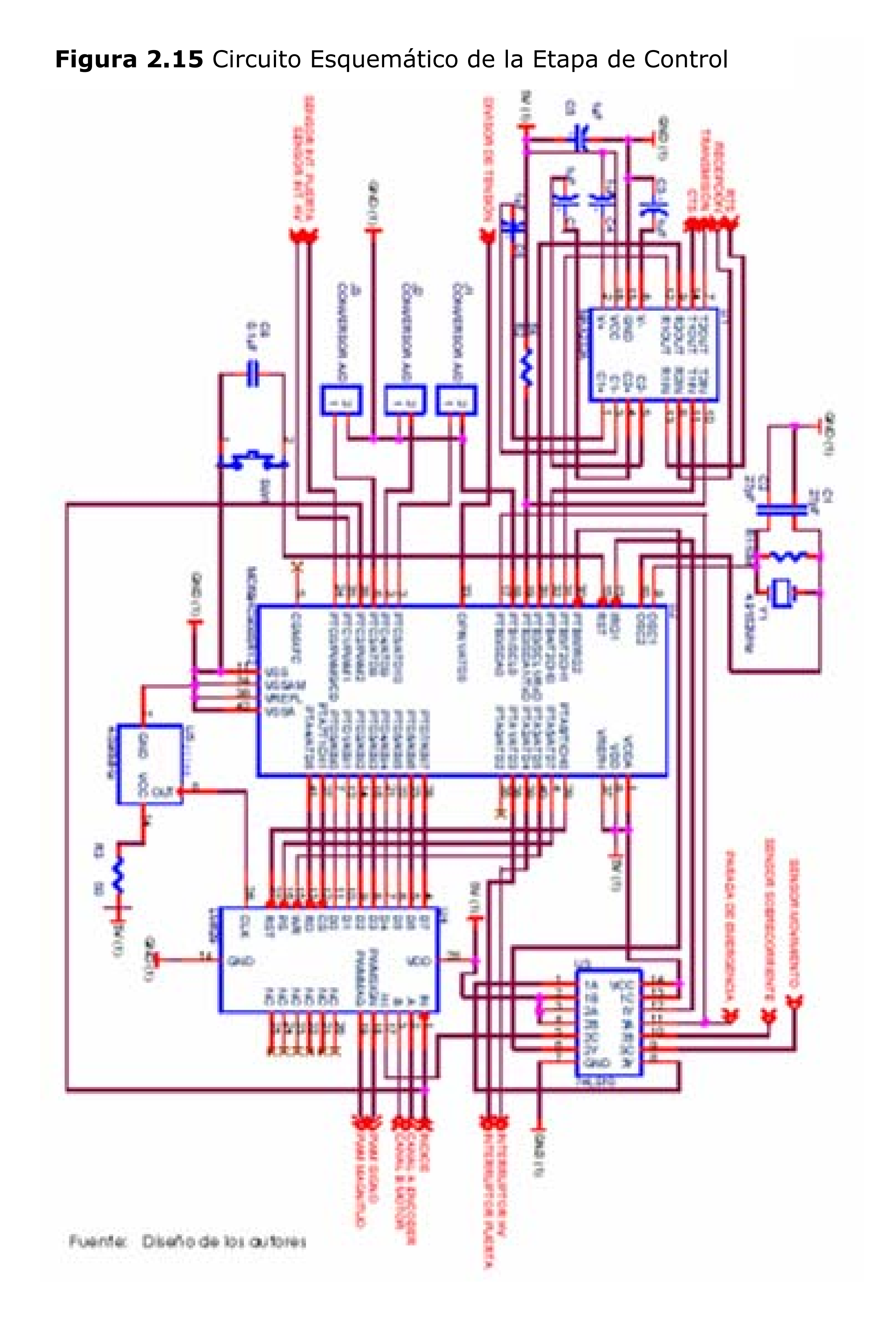
En el mercado se logró conseguir el circuito integrado S13R8 de CONNOR-WINFIELD CORPORATION que entrega una señal de onda cuadrada de 4,096 MHz, el cual se observa en el diagrama de la figura 2.15, este dispositivo es el encargado de generar la señal de reloj para el LM629.

En el diagrama circuital (ver figura 2.15) se muestran las señales que intervienen en la etapa de control. Pueden ser clasificadas como señales de entrada o señales de salida:

---

[12] www.freescale.com/files/microcontrollers/ doc/eng_bulletin/EB396.pdf

Figura 2.15 Circuito Esquemático de la Etapa de Control



Fuente: Diseño de los autores

Señales de entrada de la etapa de control

- RTS (*request to send*): Señal proveniente del computador.

- Recepción: En esta señal viene la información que entrega la aplicación de LabView a la etapa de control.

- Divisor de Tensión: Es el valor de continua que debe interpretar el microcontrolador para entregar el valor que se tiene en alta tensión.

- Sensor del interruptor de enclavamiento de la puerta: Con esta señal se conoce el estado del interruptor de "*door locked*", si esta señal es "alta", el interruptor de la puerta esta activado (*door locked*), si la señal es un "bajo", el interruptor está desactivado (*door unlocked*).
- Sensor del interruptor de alto voltaje: Con esta señal se conoce el estado del interruptor de alta tensión (HV), si esta señal es "alta", el interruptor de HV está activado, si la señal es un "bajo", el interruptor de HV está desactivado.

- Índice: Para lograr mayor exactitud en el sistema de control, se diseñó un acople con el que se logra un indicador de inicio de posición, es decir, una señal que se active cuando el eje del autotransformador se encuentre en la posición inicial.
  Esta señal es un "bajo" cuando el eje está en su posición inicial, una vez el eje es girado, la señal cambia a un "alto".

- Canales A y B: estas son las dos señales en cuadratura que provienen del *encoder* del motor y son necesarias para el controlador LM629.

- <u>Parada de emergencia, sensor de movimiento:</u> El sistema de control deja abierta la posibilidad de que la universidad adquiera una parada de emergencia acorde con las necesidades de la consola, ya que a través de un conector en la tarjeta de control se encuentran los terminales de entrada de la parada de emergencia, así como los terminales de entrada del sensor de movimiento. El objetivo del sensor, es que la aplicación en software tenga conocimiento de alguna persona antes, durante o después de iniciar alguna prueba. Las dos señales son activas en "bajo".

- <u>Sensor de sobrecorriente:</u> Debido a que el interruptor manual de alto voltaje trae incorporado una protección contra sobrecorriente (mayor a 5 A), es necesario que el sistema de control active una interrupción cuando esto ocurra. La señal es activa en "bajo".

Señales de salida de la etapa de control

- <u>CTS</u> (*clear to send*): Es una señal de control de flujo, por software el microcontrolador le permite o no al computador que realice la transmisión.

- <u>Transmisión:</u> Es la señal que comprende la información que se necesita en la aplicación en el computador.

- <u>PWM signo y PWM magnitud:</u> Son las señales de control que entrega el LM629 y serán interpretadas por el puente H, para ejecutar la posición, la velocidad y la aceleración deseadas en el motor.

- <u>Interruptores de alta tensión y de enclavamiento de la puerta:</u> Con estas dos señales se activan/desactivan desde el computador los interruptores de alta tensión y enclavamiento de puerta.

2.12.2 Diagrama esquemático de la etapa de potencia

El elemento central de la etapa de potencia es el circuito integrado LMD18200, encargado de actuar como puente H y controlar el motor. Además en esta etapa es donde actúan los relés que controlan a los interruptores de la consola (interruptor de alta tensión e interruptor de enclavamiento de puerta) y llegan las señales que sensan el estado de los interruptores y el estado de la protección contra sobrecorriente.

En la figura 2.17 se observa el diagrama esquemático de la etapa de potencia, se muestran el LMD18200, a los relés de control de interruptores, además de los circuitos integrados SFH6700 y 4n36. Con estos dos tipos de optoaisladores se desacopla la etapa de control de la potencia para proteger los integrados de control, ya que éstos no pueden manejar altas corrientes.

Señales de entrada de la etapa de potencia

- PWM signo y PWM magnitud: Son las señales provenientes del LM629. Debido a que estas señales tienen anchos de pulsos de muy corta duración (orden de microsegundos), se utilizó el optoaislador SFH6700, el cual es un aislador de muy alta velocidad, para desacoplar el LM629 del puente H LMD18200.

- Interruptores de alta tensión y enclavamiento de la puerta: Al igual que las anteriores estas señales vienen de la etapa de control, debido a que el microcontrolador MC68HC908SR12 es el encargado de controlar los interruptores. Como se puede observar en la figura 2.15, estas señales Fin de carrera de interruptor de alta tensión: Se utiliza el mismo principio descrito anteriormente, cuando está activado el

interruptor de Alto Voltaje, el fin de carrera cambia a su normalidad y la salida del optoaislador es un "alto".

- Fin de carrera de interruptor de enclavamiento de la puerta: El interruptor de enclavamiento de puerta es un interruptor de tres polos, de los cuales la lógica cableada utiliza dos polos. El tercer polo es normalmente cerrado (NC) y se implementó para sensar el estado del interruptor ejecutando el mismo principio de los fin de carrera anteriores.

Señales de salida de la etapa de potencia

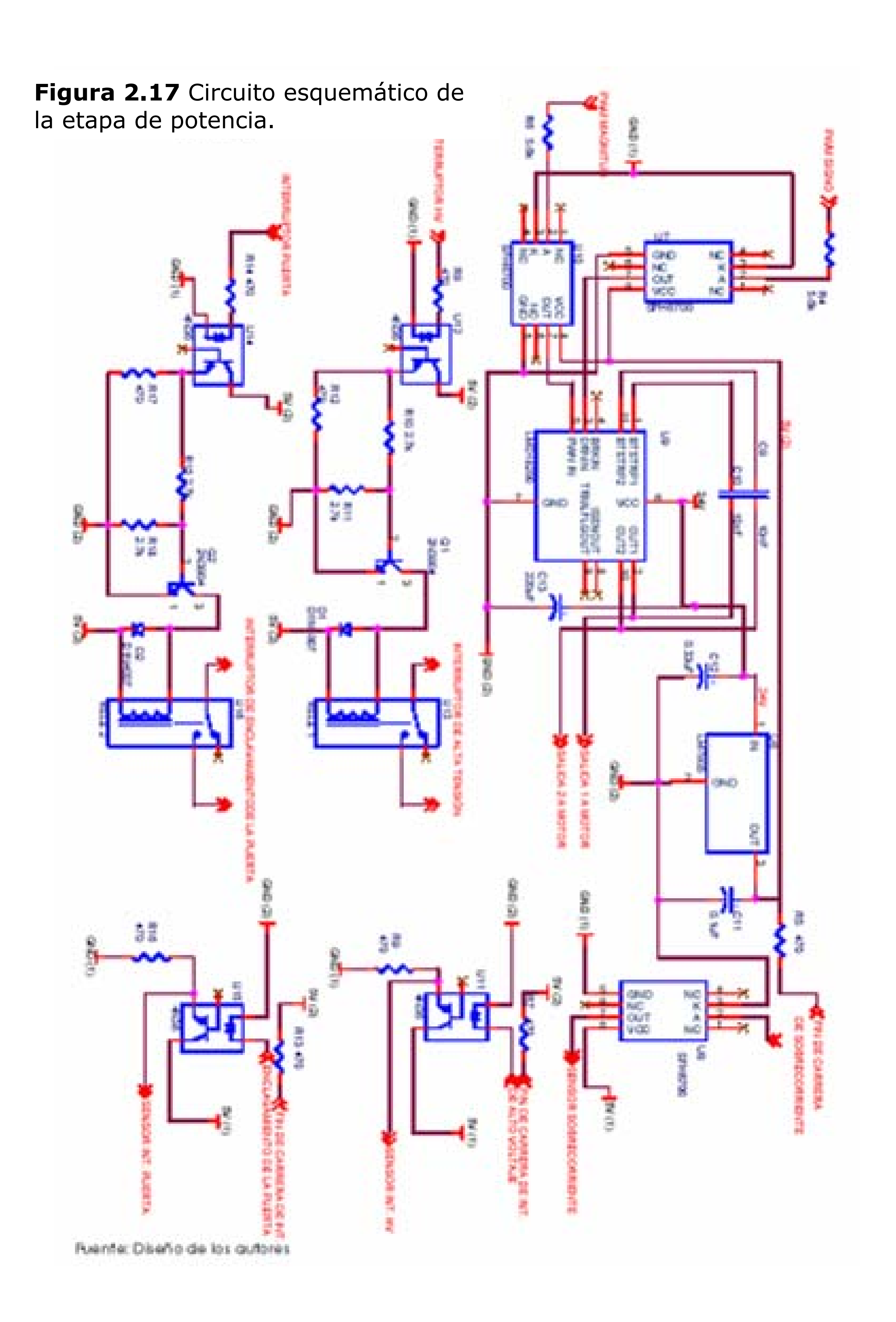
- Interruptor de enclavamiento de la puerta: Son los terminales del interruptor de enclavamiento de puerta y se conectan a los terminales del relé correspondiente (a su contacto normalmente abierto (NO)).

- Interruptor de alto voltaje: Son los terminales del interruptor de alta tensión y se conectan a los terminales del relé que acciona el activamiento de este interruptor (a su contacto normalmente abierto (NO)).

- Salidas a motor 1 y 2: En estas dos señales se encuentra la orden que el puente H LMD18200 le indica al motor con el objeto de cumplir la posición, la velocidad y la aceleración que el controlador LM629 envió a través de las dos señales PWM.

- Sensor de la protección contra sobrecorriente, sensor del interruptor de alta tensión y sensor del interruptor de enclavamiento de la puerta: Las tres señales van a la etapa de control y las tres son las salidas de cada uno de los optoaisladores que desacoplan la fuente de control y de potencia.

Figura 2.17 Circuito esquemático de la etapa de potencia.



Fuente: Diseño de los autores

2.12.3 Disipación de potencia del sistema de control

En los diagramas esquemáticos se muestran además diferentes valores de fuente de alimentación.

En el diagrama de la etapa de control se observa que la fuente de alimentación es de 5 V y se especifica como 5 V (1) y su tierra es GND (1). Esta fuente es la dedicada a alimentar exclusivamente a la etapa de control, al encoder del motor, al optoaislador que entrega la señal del índice, al AD637 y a las etapas de los optoaisladores que están relacionadas con las señales de control.

En la tabla 2.3 se observa el consumo de potencia de la etapa de control. Se realizó implementando los valores máximos de disipación de potencia de cada circuito integrado que interviene en la fuente de 5 V que alimenta esta etapa.

El conjunto de los dispositivos referidos a ésta fuente de alimentación disipan 3,335 W, el regulador LM7805 disipa un máximo de 5 W, luego en condiciones normales la fuente de alimentación no tiene inconvenientes en entregar la corriente necesaria a los dispositivos mencionados anteriormente.

Por otro lado, la fuente de 24 V y GND (2) que se observa en el diagrama de potencia de la figura 2.15, es la que alimenta el puente H LMD18200, es decir es la fuente que alimenta el motor. Por esta fuente puede circular corriente de hasta 2 A y a partir ella se deriva otra fuente de 5 V, usando también el regulador LM7805. Esta fuente se especifica por 5 V (2) y la misma referencia, GND (2). Con los 5 V de esta fuente se alimentan las etapas de los

optoaisladores que están relacionadas con las señales de potencia y los relés de activación de los interruptores.

Tabla 2.3 Consumo de potencia de la etapa de control.

DISPOSITIVO	MÁXIMA DISIPACIÓN DE POTENCIA
MC68HC908SR12	500 mW
LM629	605 mW
MAX232	842 mW
SFH6700*	140 mW
ECG3101	250 mW
S13R8	250 mW
74LS10	40 mW
4N36**	600 mW
AD637	108 mW

*el valor de 140 mW corresponde a los tres circuitos integrados SFH6700 que intervienen en la etapa de control.

**el valor de 600 mW corresponde a los cuatro circuitos integrados 4N36 referidos a la etapa de control.

Fuente: Diseño de los autores

La potencia que el motor requiere la entrega el puente H LMD18200. Si el motor en algún caso extremo (eje bloqueado, devanados del motor en corto) requiere corrientes muy elevadas el LMD18200 tiene unas protecciones (hasta de 10 A) que garantizan que la fuente de alimentación no se vea alterada.

Básicamente, la fuente de alimentación de 5 V que se encuentra referenciada a la etapa de potencia disipa 220 mW debido a los optoaisladores SFH6700, 600 mW que consumen los 4n36 y 100 mW por los relés de accionamiento de los interruptores.

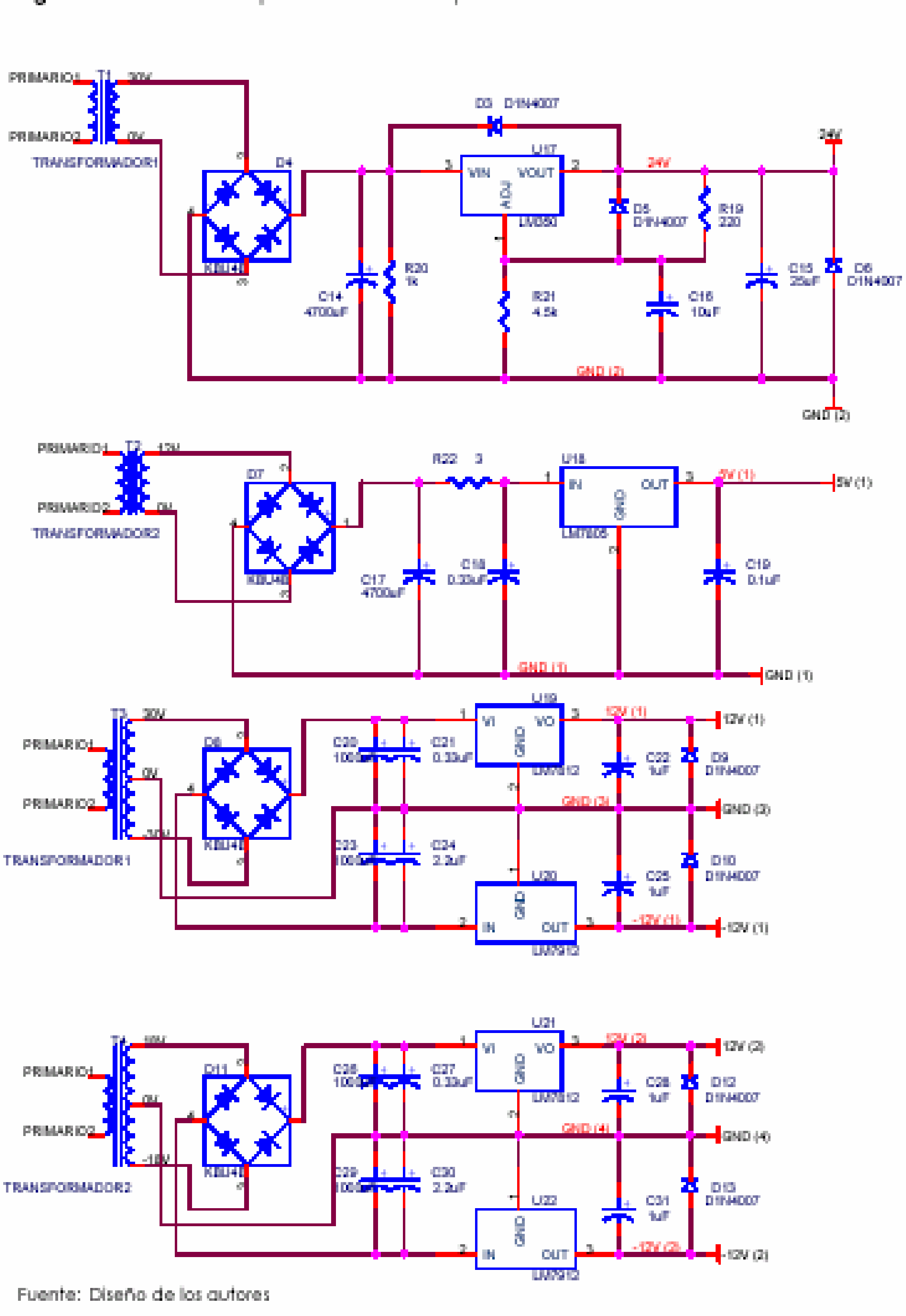
Se tiene que la potencia que consume la carga de esta fuente es del orden de 920 mW, valor que el regulador LM7805 maneja fácilmente.

Esta potencia de 920 mW la debe entregar la fuente de 24 V, que además alimenta al LMD18200, el cual disipa una potencia máxima de 28 W, es decir en total alrededor de 29 W.

El regulador de esta fuente, es el LM350K, el cual tiene la capacidad de disipar hasta 72 W, aunque el transformador con el que se implementó la fuente entrega un máximo de 51 W.

Se concluye que las fuentes de alimentación están desacopladas, sus referencias son diferentes y se protegen los circuitos integrados de control; además se concluye que los transformadores, los reguladores y todo el conjunto que conforman la alimentación del sistema de control implementado están en la capacidad de entregar la potencia que se consume en el sistema.

Figura 2.18 Circuito Esquemático de la Etapa de alimentación



Fuente: Diseño de los autores

2.13 RESULTADO FINAL DEL SISTEMA DE CONTROL

En este apartado se explica la distribución de los dispositivos electrónicos sobre cada una de las tarjetas diseñadas, con el fin de identificar algún elemento en particular que requiera mantenimiento, o que requiera ser sustituido por un dispositivo nuevo.

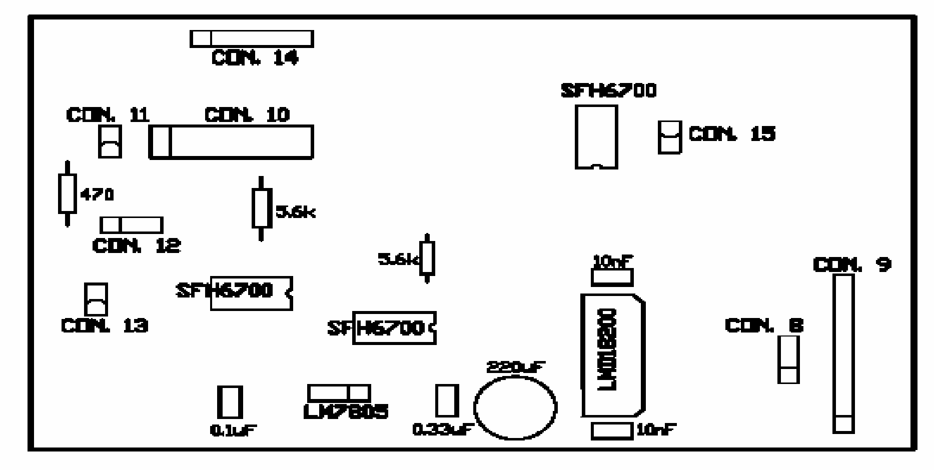
Además se muestran las conexiones entre cada tarjeta, ilustrando la posición de cada cable de conexión del sistema de control, se enumerarán todas estas conexiones y aquellas que son externas a las tarjetas

2.13.1 Distribución espacial de los elementos del sistema de control

Las tarjetas diseñadas se encuentran en el interior de la consola de corriente alterna, sobre una gaveta que se ajustó sobre la parte frontal de la misma.

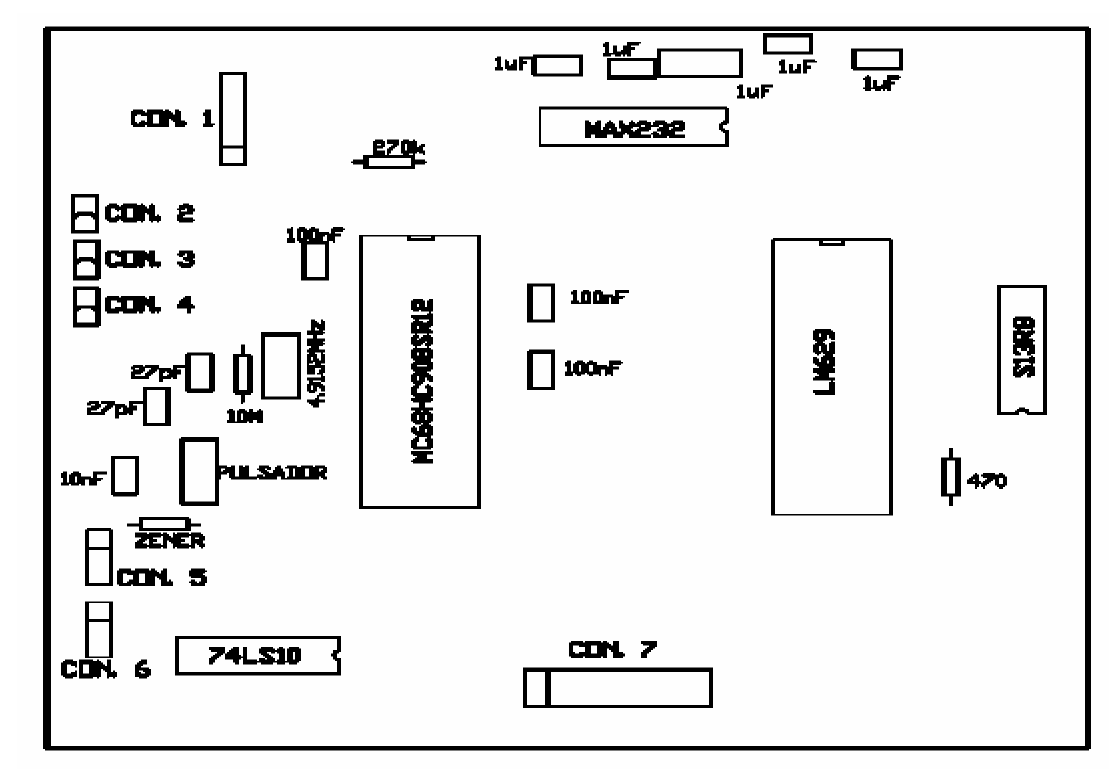
A continuación en las figuras se muestran los esquemas finales de cada una de las tarjetas diseñadas, con todos sus componentes ensamblados, vistas desde la capa de siluetas:

Figura 2.18 Capa de siluetas de la tarjeta de potencia



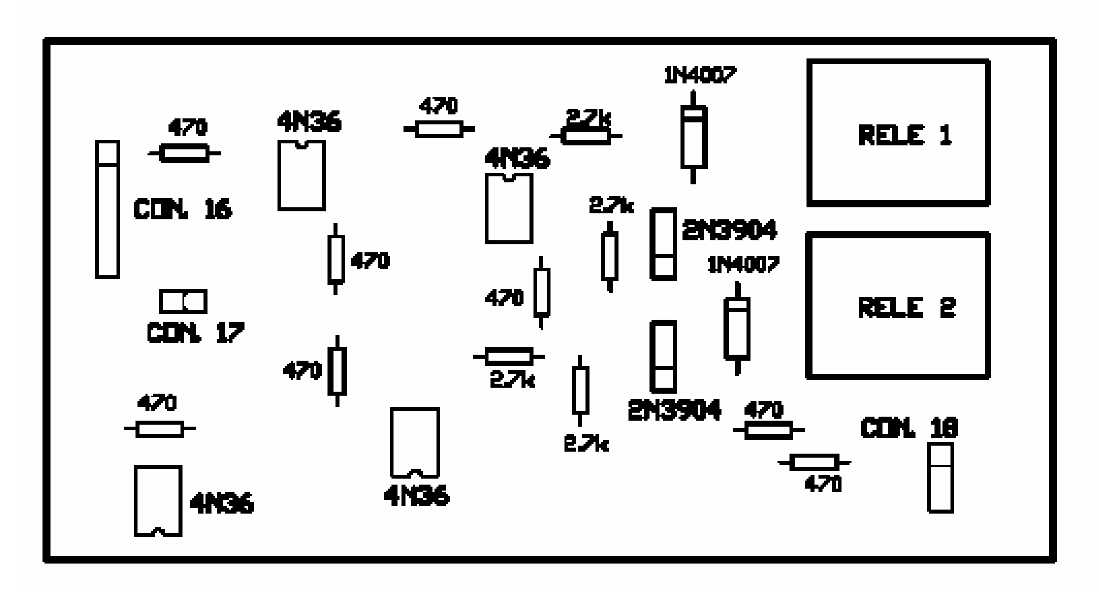
Fuente: Diseño de los autores

Figura 2.19 Capa de siluetas de la tarjeta de control



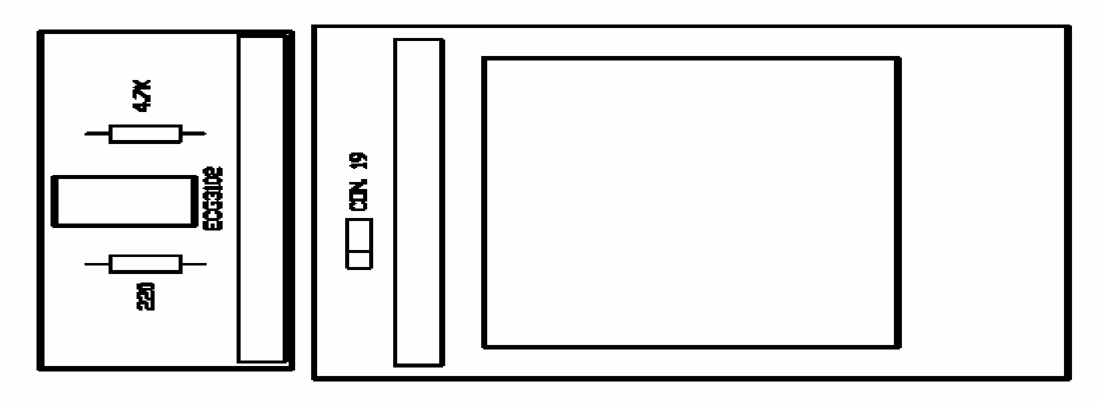
Fuente: Diseño de los autores

Figura 2.20 Capa de siluetas de la tarjeta de control y sensado de los interruptores



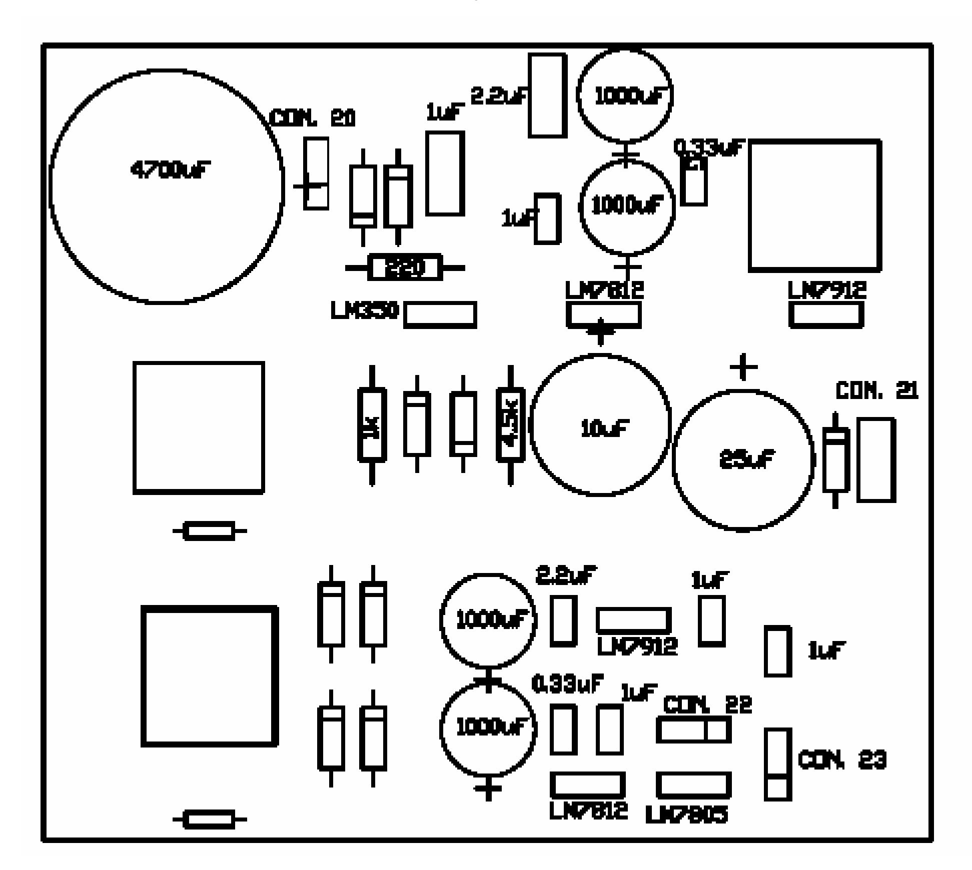
Fuente: Diseño de los autores

Figura 2.21Capa de siluetas de las tarjetas para la obtención de la señal



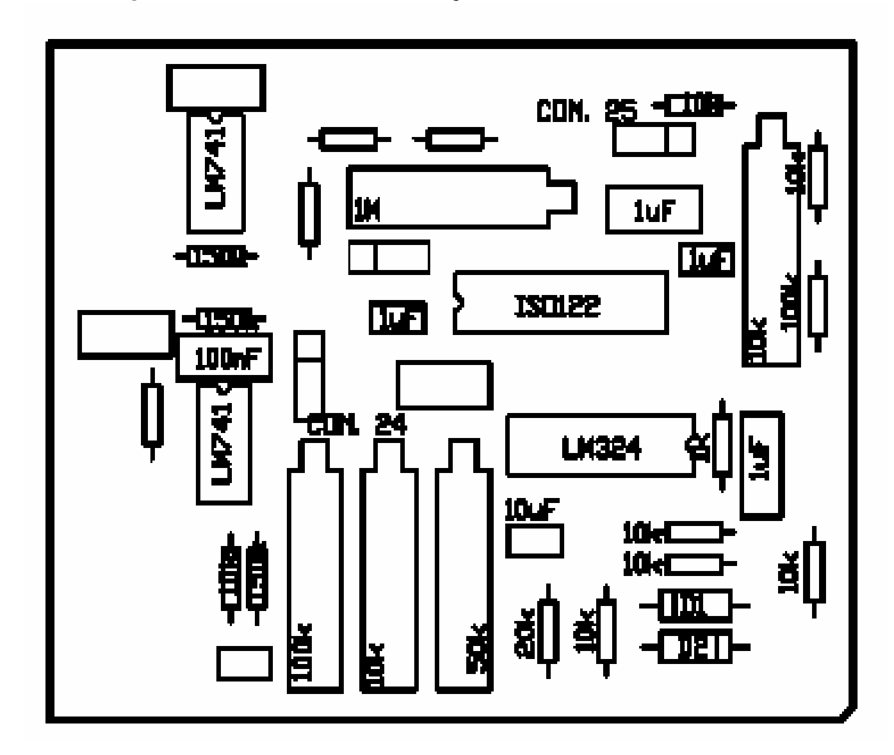
Fuente: Diseño de los autores

Figura 2.22 Capa de siluetas de la tarjeta fuente de alimentación



Fuente: Diseño de los autores

Figura 2.23 Capa de siluetas de la tarjeta de sensado de alta tensión



Diseño de los autores

2.13.2 Conexión entre las tarjetas

A continuación se describen las conexiones entre cada tarjeta, ilustrando la posición de cada cable de conexión del sistema de control, se enumerarán todas estas conexiones y aquellas que son externas a las tarjetas

CON. 1: Se conecta al puerto serial del computador, de la siguiente manera:

- **TERMINAL 1** señal CTS
- **TERMINAL 2** señal RTS
- **TERMINAL 3** señal de tierra del computador
- **TERMINAL 4** señal de transmisión del computador

- **TERMINAL 5** señal de recepción del computador

Los conectores 2, 3 y 4 son los canales del conversor analógico/ digital del microcontrolador MC68HC908SR12 que están disponibles para su implementación, ya que el proyecto deja abierta la posibilidad de sensar más variables analógicas

CON. 2:

- **TERMINAL 1** señal analógica que se desea sensar
- **TERMINAL 2** tierra del sistema de control

CON. 3:

- **TERMINAL 1** tierra del sistema de control
- **TERMINAL 2** señal analógica que se desea sensar

CON. 4:

- **TERMINAL 1** señal analógica que se desea sensar
- **TERMINAL 2** tierra del sistema de control

CON. 5: En este conector se implementa la parada de emergencia que el laboratorio de alta tensión le puede añadir al sistema de control. Si esta señal es un "bajo" el sistema apaga la consola y sólo se podrá iniciar una prueba hasta que retorne a un "alto". Actualmente esta señal se deja conectada a +5 V a través de un *JUMPER*, para que el sistema de control pueda iniciar

- **TERMINAL 1** tierra del sistema de control

- **TERMINAL 2** señal parada de emergencia
- **TERMINAL 3** señal de +5 V de la etapa de control

CON. 6: Si se desea que en el laboratorio se instale un sensor de movimiento, que indique si se encuentra una persona en el momento de la ejecución de una prueba, este sensor se adaptaría al conector 6. Al igual que el anterior, es activo en "bajo". A través de un *JUMPER* esta señal se mantiene en "alto"

- **TERMINAL 1** tierra del sistema de control
- **TERMINAL 2** señal del sensor de movimiento
- **TERMINAL 3** señal de +5 V de la etapa de control

CON. 7: Este es un conector de dos filas, a través del cual se interconectan las tarjetas de control y de potencia. El hilo rojo del conector, terminal 1, se toma como referencia y por el otro extremo de la correa se conecta al terminal 1 del conector 10.

CON. 8: Alimentación de la etapa de potencia, a este conector se conecta la fuente de alimentación de + 24 V, se acopla al conector 21:

- **TERMINAL 1** tierra de la fuente de 24 V. (cable de color azul)
- **TERMINAL 2** no conectar
- **TERMINAL 3** señal de + 24 V (cable de color blanco)

CON. 9: Es la interfase hacia al motor de CD que hace girar el eje del autotransformador. Comprende las fases del motor, la alimentación del *ENCODER* y las señales en cuadratura de los canales del *ENCODER:*

- **TERMINAL 1** no conectar
- **TERMINAL 2** salida 1 al motor
- **TERMINAL 3** no conectar

- **TERMINAL 4** no conectar
- **TERMINAL 5** tierra del sistema de control (alimentación del *ENCODER*)
- **TERMINAL 6** canal A en cuadratura del *ENCODER*
- **TERMINAL 7** canal A en cuadratura del *ENCODER*
- **TERMINAL 8** señal de +5 V (alimentación del *ENCODER*)
- **TERMINAL 9** no conectar
- **TERMINAL 10** no conectar
- **TERMINAL 11** salida 2 al motor
- **TERMINAL 12** no conectar

CON. 10: Se acopla al conector 7, de tal forma que para el terminal 1 se toma como referencia el hilo rojo de la correa

CON. 11: Alimentación de la etapa de control, a este conector se conecta la fuente de alimentación de + 5 V.

- **TERMINAL 1** señal de +5 V (cable de color blanco)
- **TERMINAL 2** tierra de la fuente de 24 V (cable de color azul)

CON. 12: Corresponde a la señal del índice, proviene del acople que se diseñó para obtener una indicación de la posición inicial del eje del autotransformador. Se acopla al conector 19:

- **TERMINAL 1** tierra del sistema de control
- **TERMINAL 2** señal de +5 V del sistema de control
- **TERMINAL 3** señal índice

CON. 13: En este conector se aplica la fuente de +5 V que se obtiene en la etapa de potencia, para la alimentación de los opotoaisladores que intervienen en el control y sensado de los interruptores. Este conector se acopla al conector 17

- **TERMINAL 1** tierra de la etapa de potencia (cable azul)
- **TERMINAL 2** +5 V (cable blanco)

CON. 14: En este conector se lleva la información de control y senado de los interruptores, se acopla con el conector 16

- **TERMINAL 1** es la señal de accionamiento del interruptor de alto voltaje
- **TERMINAL 2** es la señal de accionamiento del interruptor de enclavamiento de puerta
- **TERMINAL 3** es la señal del sensor del interruptor de enclavamiento de puerta
- **TERMINAL 4** es la señal del sensor del interruptor de alto voltaje
- **TERMINAL 5** tierra del sistema de control
- **TERMINAL 6** señal de +5 V del sistema de control

CON. 15: Información del sistema de accionamiento por sobrecorriente, es decir, a través de este conector se conoce el estado de la protección de sobrecorriente que posee el interruptor de alto voltaje:

- **TERMINAL 1** tierra del sistema de potencia
- **TERMINAL 2** proviene del terminal 2 del fin de carrera acoplado para que brinde la bandera de sobrecorriente.

CON. 16: Se acopla con el conector 14

CON. 17: Se acopla con el conector 13

CON. 18: Son las señales que provienen de los fines de carrera que indican el estado de los interruptores

- **TERMINAL 1** señal de +5 V de la etapa de potencia, este terminal se conecta al terminal 1 del interruptor de enclavamiento de puerta, se conecta al terminal 1 del fin de carrera de interruptor de alta tensión y al terminal 1 del fin de carrera para la bandera de sobrecorriente.
- **TERMINAL 2** indica si el interruptor de alta tensión está accionado. Proviene del terminal 2 del fin de carrera acoplado para el sensado de este interruptor
- **TERMINAL 3** indica si el interruptor de enclavamiento de la puerta está accionado. Proviene del terminal 2 del interruptor de enclavamiento de la puerta

CON. 19: Se encuentra en la tarjeta implementada en el acople realizado para obtener la señal índice. Se acopla al conector 12

CON. 20: Corresponde a la fuente de alimentación de la etapa de entrada del aislador ISO122, se acopla con el conector 24

- **Terminal 1** Señal de -12 V
- **Terminal 2** Señal de +12 V
- **Terminal 3** Señal de referencia de la etapa de entrada del ISO122

CON. 21: A través de este conector se alimenta la etapa de potencia, su valor es de +24 V y se acopla al conector 8.

CON. 22: Corresponde a la fuente de alimentación de la etapa de salida del aislador ISO122 y se acopla con el conector 25.

- **Terminal 1** Señal de -12 V
- **Terminal 2** Señal de +12 V

- **Terminal 3** Señal de referencia de la etapa de entrada del ISO122

CON. 23: La fuente de alimentación de la etapa de control se obtiene de este conector, se acopla al conector 11

CON. 24: Es la etapa de entrada aislador ISO122, se acopla con el conector 20

CON. 25: Es la etapa de salida del aislador ISO122, se acopla con el conector 22

2.13.3 Conexiones externas a las tarjetas

Son las conexiones que van desde la red de tensión alterna, pasando por los transformadores y que van hasta la consola.

Al igual que los conectores descritos anteriormente, los cables correspondientes a estas conexiones se encuentran marcados para facilitar la identificación de los mismos:

F: Previamente se conectó una de las fases de entrada a la consola de corriente alterna a un fusible de 5 A, ubicado sobre la marca con la letra E de la consola. El otro terminal del fusible se conecta a este cable llamado **F**, el cual llega al primario de los transformadores.

N: Se toma la entrada neutro de la consola y se conecta al terminal restante del primario de los transformadores a través del cable marcado con la letra **N**

Con los dos cables anteriores se realiza la conexión de alimentación del primario de los dos transformadores y se toman 110 V de corriente alterna

que se obtienen entre una fase y el neutro que está a la entrada de la consola de corriente alterna.

T1-1: Es uno de los cables del secundario del transformador 1, implementado para proporcionar la señal de + 24 V, que se encarga de alimentar la etapa de potencia

T1-2: Es el complemento del anterior para generar la fuente de + 24 V

T2-1: Es uno de los cables del secundario del transformador 2, implementado para proporcionar la señal de + 5 V, para la alimentación de la etapa de control

T2-2: Es el complemento del anterior para generar la fuente de + 5 V.

3. SOFTWARE

El sistema diseñado consta de una consola virtual implementada en LabView desde la que el operario ejerce control y observación de las variables de la prueba.

En este capítulo se recoge la programación en general y se incluye el programa desarrollado para el microcontrolador MC68HC908SR12. Inductivamente se describe la comunicación implementada entre el PC y el microcontrolador y a continuación la aplicación en LabView desde sus diversos componentes virtuales y el encadenamiento de los mismos en la consola virtual.

El microcontrolador MC68HC908SR12 se describió en el capítulo precedente y actúa como interfase serial para la comunicación entre el PC y los diversos componentes del sistema.

El hardware es suficientemente versátil para permitir a la aplicación software controlar y sensar diversos parámetros de la ejecución de la prueba. Los parámetros que la aplicación software entrega son la velocidad, posición, aceleración, freno e interruptores además solicita sensar los canales del conversor analógico digital y la normalidad de los interruptores.

El operario suministra los parámetros para la prueba y el software gestiona la información obtenida entregando mediante un enlace serial los datos adecuados a la solicitud presentada en la consola virtual.

3.1 COMUNICACIÓN SERIAL

La comunicación entre el PC y el microcontrolador Motorola MC68HC908SR12 es serial en protocolo RS232 formato 8N1 con control de flujo RTS/CTS. Para la detección de errores se implementó una transmisión redundante con respuesta de verificación, donde el PC actúa como maestro.

Figura 3.1 Transmisión desde el maestro

Fuente: Diseño de los autores

[13] Cuando se habla de transmisión se refiere a la observada desde el PC

3.1.1 Byte de Respuesta de Transmisión (BRT).

El BRT es enviado como parte de la trama de comunicación y contiene información diversa, incluidos los dos bits menos significativos del conversor analógico digital, la normalidad de los interruptores, la señal índice del eje y si se presentó discrepancia en los bytes redundantes transmitidos antes. En la figura 3.2 se observa la distribución de estos bits dentro del BRT.

Figura 3.2 Byte de respuesta de transmisión BRT

Fuente: Diseño de los autores

Los bits B4 y B3 discriminan el tipo de interrupción presentada. Si el bit B4 y B3 están en cero conjuntamente se indica que no se ha presentado interrupción alguna desde que fueron reconocidas por última vez o en su defecto desde el inicio de la ejecución. En la tabla 3.2 se enumeran la configuración de estos bits y la interrupción a la que corresponden.

3.2 PROGRAMA INTERFASE SERIAL

Se llama interfase serial al conjunto hardware-software que permite la comunicación entre el PC, el LM629, los bits de accionamiento y sensado de los interruptores y el conversor analógico digital. El dispositivo que hace posible la comunicación serial es el microcontrolador de Motorola

MC68HC908SR12 descrito en el capítulo 2, que además incorpora el conversor analógico digital [*Data Sheet* MC68HC908SR12 Motorola].

El programa del microcontrolador permite la comunicación con el bus de datos y las líneas de control del LM629 además transmite la posición requerida y obtenida de los interruptores de la consola. El conversor analógico digital integrado en el MC68HC908SR12 tiene 14 canales de los cuales se han habilitado cinco, dos con función específica y tres con miras a futuras ampliaciones o mejoras del sistema.

De manera general se puede decir que la rutina programada en el Motorola recibe los datos seriales desde el PC y los coloca en los terminales correspondientes del controlador del motor y los interruptores, reconociendo a su vez si se pretende leer información de estos y transmitiéndola si es pertinente. Además el conversor analógico digital recibe las señales, realiza su digitalización y espera por una solicitud para enviarla hacia el PC.

En la figura 3.3 se observa el diagrama de flujo del programa general en el microcontrolador MC68HC908SR12. Este inicia con la definición de algunas variables y la configuración de registros de diversos módulos del dispositivo. Continua con la aplicación de un reset en el controlador del motor (LM629) que se configura por la aplicación de un nivel bajo en el pin RST del LM629 que esta conectado con el bit 6 del puerto A del MC68HC908SR12, este nivel debe ser sostenido por un tiempo no inferior a 2,5 ms, luego de lo cual se constatará que el reset fue efectivo.

La aparición en el puerto de datos del LM629 de un valor correspondiente a C4h o 84h, constata que el reset fue efectivo y se continua con la ejecución del programa, si no coincide con estos valores se deberá efectuar nuevamente [DATA SHEET LM629 National Semiconductor].

Figura 3.3 Diagrama de flujo interfase serial.

INICIO
DEFINICIONES
RESETEO LM 629
ESPERA 2.5 ms
PTA = C4h V 84h
SI
NO
RETROCESO
INDICE?
PTC(2)=0
SI
RX
SI
NO
ADC
LM629?
PTAUX(7)=0
A = PTD
PTAUX = PTA
SI
RX
PTO DATOS W
DDRD=FFh
ESCRITURA
ESCRITURA?
LECTURA?
PTAUX(3)=0?
PTAUX(4)=0?
PTA=PTAUX
LECTURA
PTO DATOS R
DDRD=00h
A=PTD
TX

Fuente: Diseño de los autores

El proceso de iniciación continua constatando la posición de partida del eje, si esta no puede ser verificada, se continúa con la subrutina retroceso que se analiza en otro apartado[14].

Efectuadas las tareas de inicio, el programa queda en un bucle finito[15] en la subrutina RX, en espera de una transmisión procedente del PC. El byte recibido es un vector de control identificado por el bit 7 que indica si esta dirigido para el controlador de motor LM629, o si se trata de una solicitud de lectura del conversor analógico digital (bloque ADC figura 3.3). Si el bit 7 recibido tiene un nivel bajo se establece que el vector de control va dirigido al LM629. Luego se presentan tres opciones posibles:

1. Escritura de datos o comandos en el bus de datos del LM629.
2. lectura de datos o comandos en el bus de datos del LM629.
3. Escritura del puerto de control en el LM629.

Si la palabra de control coincide con la opción 1 se configura la dirección del puerto de datos en escritura y se hace recepción de los datos que serán escritos, a través de la subrutina RX. Con el byte de datos recibido se coloca en el puerto de datos y seguido la palabra de control en el bus de control. Una vez realizada la gestión de los datos se regresa al bucle de recepción en espera de una nueva palabra de control. Esta secuencia es consecuente con los requerimientos del LM629 [DATA SHEET LM629 National Semiconductor].

En la opción 2 se lee el puerto de datos del LM629 y se transmite a través de la subrutina TX, luego de lo cual se regresa al bucle de recepción en espera de un nuevo vector de control desde el PC.

---

[14] El puerto de datos del LM629 corresponde con el puerto D del MC68HC908SR12
[15] El bucle esta limitado por el modulo COP que funciona como WATCHDOG

La opción 3 esta presente para permitir el cumplimiento de las secuencias de escritura y lectura del LM629 [DATA SHEET LM629 National Semiconductor] que corresponde con los vectores de control precedentes a una lectura o escritura por lo que simplemente en este punto se coloca el vector de control en el puerto A del MC68HC908SR12 y se regresa al bucle de recepción.

En los siguientes apartados se hace una descripción de las subrutinas usadas dentro del programa general así como del bloque ADC observado en la figura 3.3. En este bloque se implementan funciones extra, así como la lectura de los cinco canales habilitados del conversor analógico digital incorporado en el microcontrolador Motorola MC68HC908SR12.

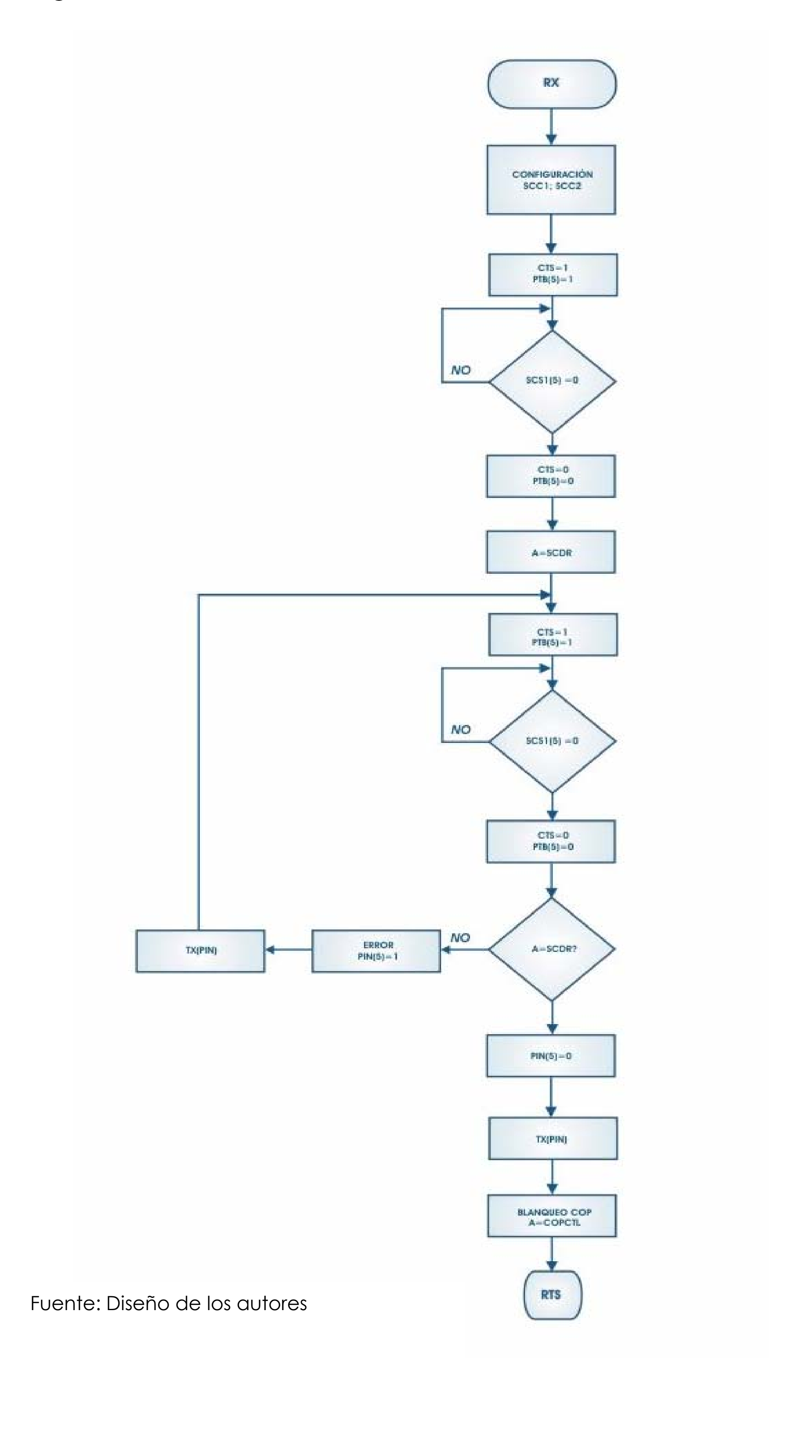
3.2.1 Subrutina RX en Motorola MC68HC908SR12.

La subrutina RX inicia con la configuración de los registros, SCC1 y SCC2, que habilitan el modulo SCI y la recepción del microcontrolador MC68HC908SR12. En la figura 3.4 se observa el diagrama de flujo de la subrutina RX.

Para el envió de datos hacia el microcontrolador, es preciso activar la línea CTS. Posteriormente se espera la recepción de 8 bits consecutivos, luego de lo cual se desactiva la línea CTS. El proceso anterior se realiza para recibir el byte dos veces a fin de comparar y detectar errores de comunicación. Cuando se detecta que los dos bytes son diferentes se comunica al PC esta divergencia colocando en alto el bit 5 del BRT, para que reenvié el byte que nuevamente será comparado con la recepción anterior.

Este ciclo se repite hasta lograr la igualdad de los bytes, momento en el que se asume que la comunicación fue correcta y se transmite el BRT, con la verificación de igualdad (bit 5=0).

Figura 3.4 Subrutina Rx



Fuente: Diseño de los autores

El BRT contiene información sobre la comunicación anterior en el bit 5 como se observa en la figura 3.2. Cuando B5 se encuentra en alto indica que se presentó una desigualdad en los datos recibidos, lo que sugiere que ocurrió un error; análogamente sucede al colocar en bajo este bit.

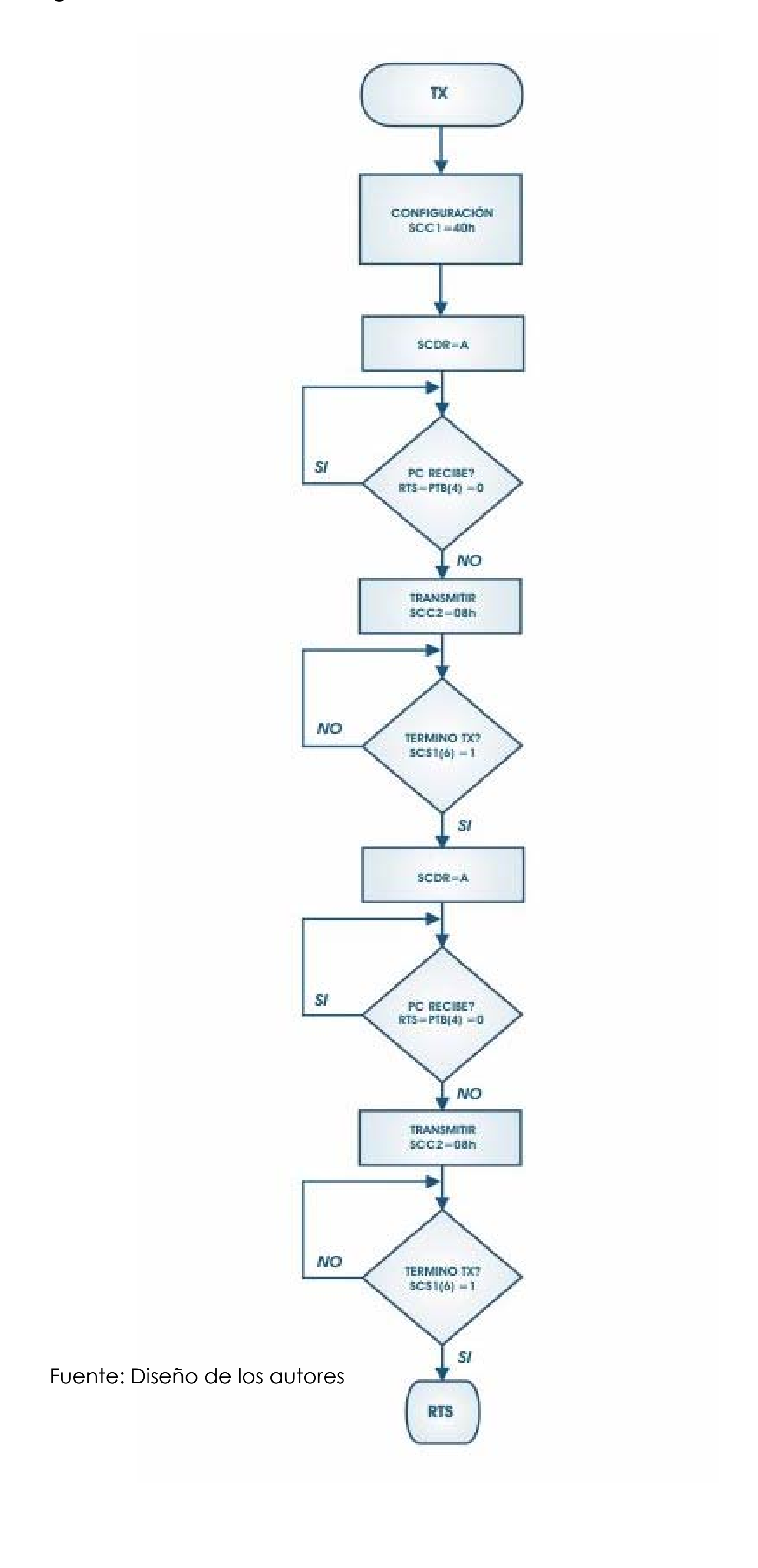
3.2.2 Subrutina TX en Motorola MC68HC908SR12.

La subrutina TX toma el byte del acumulador para transmitirlo. Inicia con la configuración del registro, SCC1 y verifica en el puerto B del MC68HC908SR12 si el bit 4 esta en alto. El bit 4 del puerto B corresponde con la línea RTS del control de flujo y tiene la función de habilitar o deshabilitar la transmisión hacia el PC. El procedimiento se repite para enviar el byte redundante y que el maestro pueda verificar si el dato fue correcto. En este caso la detección de errores corre por cuenta del maestro. Si éste detecta que los bytes redundantes no son iguales, solicitará nuevamente la información que había requerido y que produjo la transmisión. En la figura 3.5 se observa el diagrama de flujo de la subrutina TX.

3.2.3 Subrutina Retroceso.

Esta subrutina genera las secuencias necesarias en el puerto de datos y de control para girar el eje en sentido antihorario hasta encontrar la señal de inicio (señal índice). Esta subrutina se utiliza al iniciar la prueba si el eje no se encuentra en la posición inicial, también se usa cuando se presenta una parada de emergencia o un pico de sobrecorriente.

Figura 3.5 Subrutina TX



Fuente: Diseño de los autores

3.2.4 Bloque ADC.

Este bloque se observa en la figura 3.3 derivado cundo el bit MSB del byte de control enviado desde el PC es igual a un bit alto.

Tabla 3.1 Canales ADC en Byte de control

CANAL	ADC CH3	ADC CH1	ADC CH0
TENSIÓN	0	0	0
ATD8	1	0	0
ATD9	1	0	1
ATD10	1	1	0
ATD13	1	1	1

Fuente: Autores

En el bloque ADC el vector de control se interpreta como se observa en la figura 3.6. Cuando B6 esta en alto indica que se debe enviar el byte de respuesta de transmisión (BRT). Continuando en el bloque ADC, el byte de control podría tener el bit 5 en alto lo que generaría un reset que suspendería la ejecución en curso. Los tres bits menos significativos indican al microcontrolador que se quiere leer un canal del conversor analógico digital. La elección del canal del conversor analógico digital se hace según la tabla 3.1.

Figura 3.6 Byte control en bloque ADC



Fuente: Diseño de los autores

El canal 0 sensa la tensión del secundario del transformador elevador que ha sido adecuada para el rango de 0 V a 5 V. Cabe anotar que por defecto el único canal que tiene uso de los 10 bits es el canal de voltaje mientras los demás están truncados a 8 bits debido a que los bits LSB presentes en el BRT son del canal 0, sin embargo, si se envía un byte de control con el bit B4 activado se genera en el flujo del programa la orden de hacer los dos bits en el BRT iguales al los menos significativos del canal coincidente con el indicado en el byte de control según la tabla 3.1.

3.2.5 Interrupciones

Las fuentes básicas de interrupción son el controlador del motor LM629 y contingencias como un pico de sobrecorriente o un pulso proveniente del interruptor de emergencia.

Estas interrupciones se ubican en dos pines del microcontrolador Motorola MC68HC908SR12 que tienen como propósito la administración de contingencias de este tipo.

En la IRQ1 correspondiente al terminal 13 se conectó el interruptor de emergencia y la bandera de sobrecorriente. En cualquiera de estos casos el flujo del programa atiende la interrupción colocando en alto o bajo los bits correspondientes en el BRT (tabla 3.2) y la ejecución de la consola virtual se suspende.

En la IRQ2 se conectó la bandera de interrupción del LM629. Una vez es detectada una interrupción de esta naturaleza el flujo del programa en la interfase serial envía el byte de estatus donde se informa si se trata de una interrupción por eje bloqueado, escritura de comando o final de trayectoria. En el primer caso la prueba no puede seguir en ejecución y se interrumpe al ser detectado por la aplicación en LabView. En el caso de una escritura errada de comando la consola virtual reenvía el comando escrito. Si la interrupción es por final de trayectoria se usa para discriminar el flujo del programa en la consola virtual.

La interpretación de las interrupciones se hace según la tabla 3.2 para los bits B3 y B4 del BRT.

Tabla 3.2 Bits B3 y B4 en el BRT

B3	B4	INTERRUPCIÓN
0	0	NO HAY INTERRUPCIÓN
0	1	LM629
1	0	SOBRECORRIENTE
1	1	INTERRUPTOR DE EMERGENCIA

Fuente: autores

3.3 SUB VIs CONSTITUTIVOS CONSOLA VIRTUAL

La consola virtual es la interfase con el operador de la prueba y esta constituida de bloques funcionales programados igualmente en LabView. Estos bloques constitutivos son los sub VIs que se describen en esta sección y que se enumeran en la tabla 3.3.

Tabla 3.3 Sub VIs Constitutivos consola virtual

SUB VI	DESCRIPCIÓN
RX	Recepción de datos para el Master
TX	Transmisión de datos para el esclavo
RDSTAT	Lectura del byte de status del LM629
LFIL	Aplicación del comando LFIL del LM629 para la carga de los coeficientes del compensador
UDF	Comando UDF del LM629 para actualización coeficientes
LTRJ	Aplicación del comando LTRJ del LM629 para la carga de los parámetros de trayectoria
STT	Comando STT del LM629 para ejecutar la trayectoria
RST	Produce por software un reset en hardware al LM629
RSTI	Ejecuta el comando RSTI del LM629 blanqueo de las interrupciones.

Fuente: autores

El manejo de controlador del motor LM629 impone secuencias definidas para la escritura y lectura de comandos o datos en su bus principal, [DATA SHEET LM629 National Semiconductor]. En la tabla 3.4 se puede ver la distribución de los pines en el puerto A del Motorola MC68HC908SR12 con los tres últimos bits de los interruptores y el freno en bajo. Los valores hexadecimales que deben enviarse para cada operación se ven en la columna MICRO y en la descripción se aclara la operación que interpreta el LM629. Para cualquier operación con el LM629 hay que pasar de una operación de datos o comandos a un “strobe” de lectura o escritura.

Tabla 3.4 Valores hexadecimales para operaciones con el LM629

SALIDAS								MICRO	DESCRIPCIÓN
cs	***rst***	***ps***	***rd***	***wd***	***A***	***D***	***B***	HEXA	
0	1	1	1	1	0	0	0	78	INCIALIZACION LM629 OD
0	1	1	0	1	0	0	0	68	STROBE RD D
0	1	1	1	0	0	0	0	70	STROBE WR D
0	1	0	1	1	0	0	0	58	OC LM629
0	1	0	0	1	0	0	0	48	STROBE RD C
0	1	0	1	0	0	0	0	50	STROBE WR C
0	0	1	1	1	0	0	0	38	RESET LM629

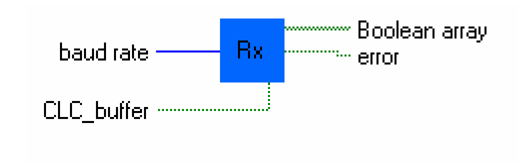
Fuente: autores

Se programaron como sub VIs los comandos básicos para la escritura de parámetros en el controlador tales como los coeficientes del compensador y la trayectoria además de la lectura del byte de estatus del LM629 y el reset de interrupciones y del integrado mismo.

3.3.1 Sub VI RX

Este sub VI tiene como objeto la recepción de datos desde el microcontrolador Motorola MC68HC908SR12. Para la recepción se tiene en cuenta el esquema de envío redundante por lo que se repite y se constata la igualdad de los bytes recibidos. En la figura 3.7 se observan los parámetros de entrada y salida de este sub VI.

Figura 3.7 Sub VI RX



Fuente: LabView 6i

El parámetro "baud rate" es un entero de 32 bits y hace referencia a la tasa de recepción a la que se configura el puerto, este valor es muy importante y debe concordar con la tasa de envío del microcontrolador.

El parámetro "CLC_buffer" es un bit de entrada que indica si se configura o no el puerto serial, esto debido ha que el uso de este sub VI se hace dentro de rutinas que en algunos casos ya han efectuado la configuración y por lo tanto hacerlo recurrentemente resulta innecesario además de ineficiente.

Los parámetros de salida son el byte resultado de la recepción y la comparación de los bytes redundantes que de ser diferentes entregarán un alto en la señal identificada como error. La señal de error también se activa por la demora prolongada del envío. Esta señal es gestionada en otros sub VIs con el objeto de enviar la solicitud de información nuevamente[16] o detectar la pérdida de comunicación con la tarjeta.

El puerto se configura coherentemente con el esquema de comunicación en formato 8N1 con control de flujo RTS/CTS.

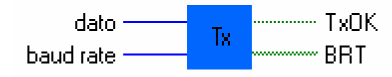
---

[16] La recepción siempre es resultado de un byte de control enviado

3.3.2 Sub VI TX

El sub VI TX esta constituido a su vez por el sub VI RX enunciado en el apartado anterior. En este bloque se hace un envío redundante de un byte y se espera la recepción de un byte de respuesta de transmisión (BRT), en el que el microcontrolador informa de la igualdad de los bytes que le fueron enviados. Además de posibles interrupciones generadas en los pines dedicados para tal fin en el microcontrolador.

Figura 3.8 Sub VI TX



Fuente: LabView 6i

En la figura 3.8 se observa los terminales de entrada del sub VI TX donde "dato" hace referencia al byte que se desea enviar. El terminal "baud rate" consecuente con el caso anterior hace referencia a la tasa de transmisión de la comunicación que en todos los casos será igual. El "BRT" es el byte de respuesta de transmisión obtenido en el envío. La línea "TXOK" es un bit que se coloca en alto cuando la ejecución del sub VI ha terminado y fue correcta, en caso contrario su estado será equivalente a un bajo. En este escenario y dado que tanto RX como TX tienen esperas se concluye que se presentó una falla de comunicación.

Este sub VI también discrimina las interrupciones presentes y si es pertinente finaliza la prueba. Las interrupciones que ocasionan el fin de la prueba son las de emergencia o por excesivo error de posición. La interrupción por error de escritura de comandos reitera el envió anterior, mientras que cuando la

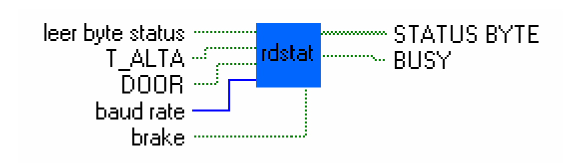
interrupción se presenta por finalización de trayectoria el sub VI omite cualquier acción al igual que cuando no existe interrupción alguna.

3.3.3 Sub VI RDSTAT

Este sub VI deriva su nombre del comando "read status" del controlador del motor el LM629. Tiene como objeto la lectura del byte de status y se configura por la colocación en las líneas de control CS, PS y RD en estado bajo mientras que RST se coloca en alto para evitar el reset del CI [data sheet LM629 National Instrument].

El byte de estado del LM629 contiene información que se debe verificar cuando se realizan operaciones de escritura. El bit LSB de este byte indica el estado ocupado o no del microcontrolador.

Figura 3.9 Sub VI RDSTAT



Fuente: LabView 6i

En la figura 3.9 se observan los terminales de entrada y salida de este sub VI y su función se enumera a continuación.

"leer byte de status" Es una señal de ejecución del elemento virtual, con el que se pretende controlar el flujo del programa.

“T_ALTA” Activa o desactiva el interruptor de alta tensión.

“DOOR” Activa o desactiva el interruptor de enclavamiento de la puerta.

“brake” Activa o desactiva el bit de freno presente en el puente h (LMD18200).

“baud rate” Indica la tasa en baudios para las comunicaciones con el microcontrolador MC68HC908SR12.

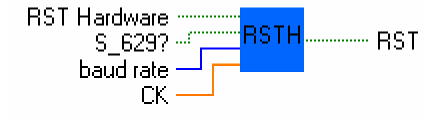
“STATUS BYTE” Es el byte de estado del LM629 objeto de este sub VI.

“BUSY” Es el bit que indica la condición de ocupado o no del LM629.

3.3.4 Sub VI RST

Este sub VI coloca un bajo en el pin RST del LM629, observar la tabla 3.4 donde se ve que para ejecutar un reset en el microcontrolador es preciso colocar en bajo el CS y RST. El sub VI abarca el reset del LM629 o también puede ejecutar un reset completo del sistema mediante el uso del bit 5 del byte de control del bloque ADC figura 3.6. Mediante esta última función el puntero del microcontrolador Motorola MC68HC908SR12 retorna a su posición de inicio (figura 3.3).

Figura 3.10 Sub VI RST



Fuente: LabView 6i

Los terminales que se observan en la figura 3.10 tienen las funciones que se describen a continuación.

"RST Hardware" Es una línea de activación para el control de flujo del programa.

"S_629?" Para ejecutar un reset exclusivo del microcontrolador LM629 se debe activar. Para ejecutar un reset total del hardware se deja en bajo.

"baud rate" Es la tasa de transferencia en baudios de las comunicaciones a que haya lugar para lograr el reset.

"CK" Esta línea se incluye para variar el tiempo en que el LM629 permanecerá en reset debido a la necesidad mínima de tiempo que este requiere para hacerlo efectivo [DATA SHEET LM629 National Semiconductor].

"**RST"** La única salida corresponde con un dato alto que se activa cuando se ha verificado que el reset ha sido efectivo y que sirve para propósitos de flujo del programa.

3.3.5 Sub VI RSTI

Este sub VI tiene como objeto borrar las interrupciones presentadas en el controlador del motor (LM629). El comando 1Dh colocado en el bus de datos del microcontrolador LM629 provoca en este la espera de dos bytes en su puerto de datos. El primer byte es cero y el segundo corresponde con el vector de interrupciones del microcontrolador [DATA SHEET LM629 National Semiconductor].

Figura 3.11 Sub VI RSTI



Fuente: LabView 6i

En la figura 3.11 se observan los diferentes parámetros de entrada del sub VI RSTI, donde algunos son equivalentes a los enumerados en apartados anteriores. Aparece la línea "**RST interrupciones**" que es un bit de activación equivalente a otros mencionados antes. El vector boleano **"VECTOR DE INTERRUPCIONES"** es un parámetro de entrada que corresponde con el byte bajo a colocar luego de la ejecución del comando RSTI. Es decir equivale al byte que borra las interrupciones en el controlador del motor LM629.

Tabla 3.5 Borrado interrupciones en el LM629

Bit	Position Function
Bits 15 thru 7	Not Used
Bit 6	Breakpoint Interrupt
Bit 5	Position-Error Interrupt
Bit 4	Wrap-Around Interrupt
Bit 3	Index-Pulse Interrupt
Bit 2	Trajectory-Complete Interrupt
Bit 1	Command-Error Interrupt
Bit 0	Not Used

Fuente: Data sheet LM629

La tabla 3.4 tomada de la hoja de datos del LM629 lista la ubicación de cada interrupción para su borrado en la secuencia de escritura consecutiva al comando RSTI.

3.3.6 Sub VI LFIL

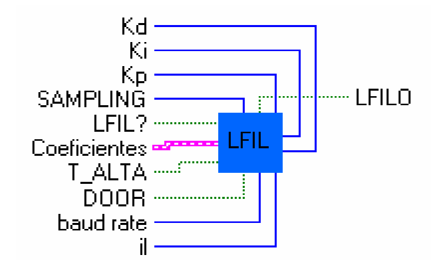
El comando LFIL del microcontrolador LM629 esta identificado por el valor hexadecimal 1Eh. Una vez ejecutado el comando, el microcontrolador espera una palabra[17] de control que contiene en el byte alto el intervalo de muestreo derivativo, mientras en el byte bajo se interpretará según el estado de los 4 bits LSB, si se van a cargar los coeficientes correspondientes [DATA SHEET LM629 National Semiconductor].

El sub VI ejecuta este comando y tiene en cuenta que una vez escritos dos bytes en el bus del LM629 es requisito de este que se lea su byte de estado para reconocer si esta disponible para una nueva operación. Cada coeficiente es de 16 bits y se deberá enviar únicamente si el byte bajo en la

[17] Palabra se usa para designar dos bytes

palabra de control consecutiva a la escritura del comando contenía el bit correspondiente activado.

Figura 3.12 Sub VI LFIL



Fuente: LabView 6i

El sub VI LFIL tiene 10 elementos de entrada y uno de salida (**LFILO**). La salida es un dato de validación que indica que la operación se realizó y faculta para la continuación dentro del flujo del programa.

Los parámetros de entrada (baud rate, T_ALTA y DOOR) son funcionalmente idénticos a los descritos en apartados previos.

Kd, Ki y Kp son los coeficientes del filtro PID incorporado en el microcotrolador dedicado LM629 y son enteros positivos de 16 bits.

SAMPLING, Corresponde al intervalo de muestreo derivativo.

il, Es el valor máximo que tomará la parte integral del compensador.

LFIL?, Línea de activación del sub VI.

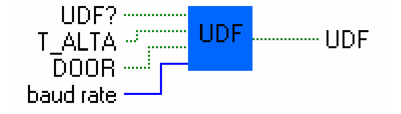
El cluster **Coeficientes** es el que indica cuales coeficientes serán cargados y es por lo tanto constitutivo del byte bajo de la palabra de control del comando LFIL.

La figura 3.12 muestra los diferentes parámetros de entrada descritos y su distribución dentro del sub VI.

3.3.7 Sub VI UDF

El sub VI UDF corresponde con el comando del mismo nombre y es básicamente una secuencia de escritura de comandos en el microcontrolador LM629. El valor hexadecimal de este es 04h y no requiere bytes posteriores. Su objetivo es validar los coeficientes que fueron escritos con anterioridad y cargarlos como los regentes.

Figura 3.13 Sub VI UDF



Fuente: LabView 6i

En la figura 3.13 se muestra la discriminación para el cableado de los parámetros de ejecución del sub VI UDF. Nuevamente aparecen variables equivalentes a las de otros sub VIs. La línea **UDF?** opera como interruptor para la ejecución del bloque.

3.3.8 Sub VI LTRJ

El comando LTRJ del microcontrolador LM629 tiene como objeto la configuración de los parámetros de la trayectoria.

El valor hexadecimal de el comando es 1Fh y requiere una palabra de control (dos bytes) y consecutivamente la carga de los valores de posición velocidad y aceleración, cada uno de los cuales es un entero de 32 bits. En la palabra de control se define que parámetros serán cargados y si estos son relativos o absolutos. La discriminación de estos bits se puede observar en la tabla 3.6

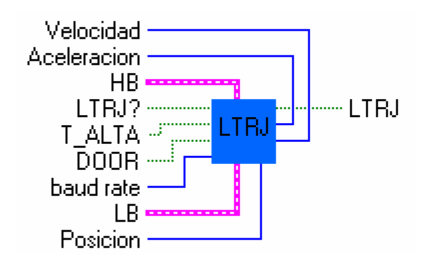
Tabla 3.6 Palabra control LTRJ del LM629

Bit	Position Function
Bits 15 thru 13	Not Used
Bit 12	Forward Direction (Velocity Mode Only)
Bit 11	Velocity Mode
Bit10	Stop Smoothly (Decelerate as Programmed)
Bit 9	Stop Abruptly (Maximum Deceleration)
Bit 8	Turn Off Motor (Output Zero Drive)
Bit 7	Not Used
Bit 6	Not Used
Bit 5	Acceleration Will Be Loaded
Bit 4	Bit 4 Acceleration Data Is Relative
Bit 3	Bit 3 Velocity Will Be Loaded
Bit 2	Bit 2 Velocity Data Is Relative
Bit 1	Bit 1 Position Will Be Loaded
Bit 0	Bit 0 Position Data Is Relative

Fuente: Data sheet LM629

El sub VI LTRJ transmite la palabra de control a través de dos cluster que con variables boleanas indican la activación o no de cada uno de los bits en la tabla 3.6. Los cluster descritos se observan en la figura 3.14 y se denominan HB y LB.

Figura 3.14 Sub VI LTRJ



Fuente: LabView 6i

Los parámetros de entrada del sub VI son los básicos descritos anteriormente (T_ALTA, DOOR y baud rate), además de **LTRJ?** que activa la ejecución del sub VI como otros equivalentes en los demás sub VIs.

Velocidad, aceleración y posición son enteros sin signo de 32 bits. Aunque los valores de estos parámetros se cableen no se cargarán si en el cluster el bit correspondiente no es activado.

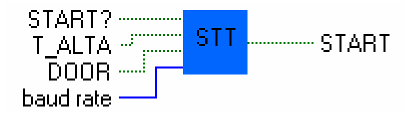
3.3.9 Sub VI STT

Este sub VI corresponde con el comando Start motion (STT) y consiste básicamente en la escritura del comando con código hexadecimal 01h. Su función es la de dar de alta los parámetros de trayectoria que hayan sido cargados con anterioridad por el comando LTRJ.

Sus líneas son las tradicionales de ejecución, interruptores y tasa de transferencia en baudios.

La distribución de los parámetros se observa en la figura 3.15 y la función de los mismos es equivalente a las descritas en el comando UDF. En este caso no hay bytes adicionales al comando para hacer transferencia.

Figura 3.15 Sub VI STT



Fuente: LabView 6i

3.4 CONSOLA VIRTUAL

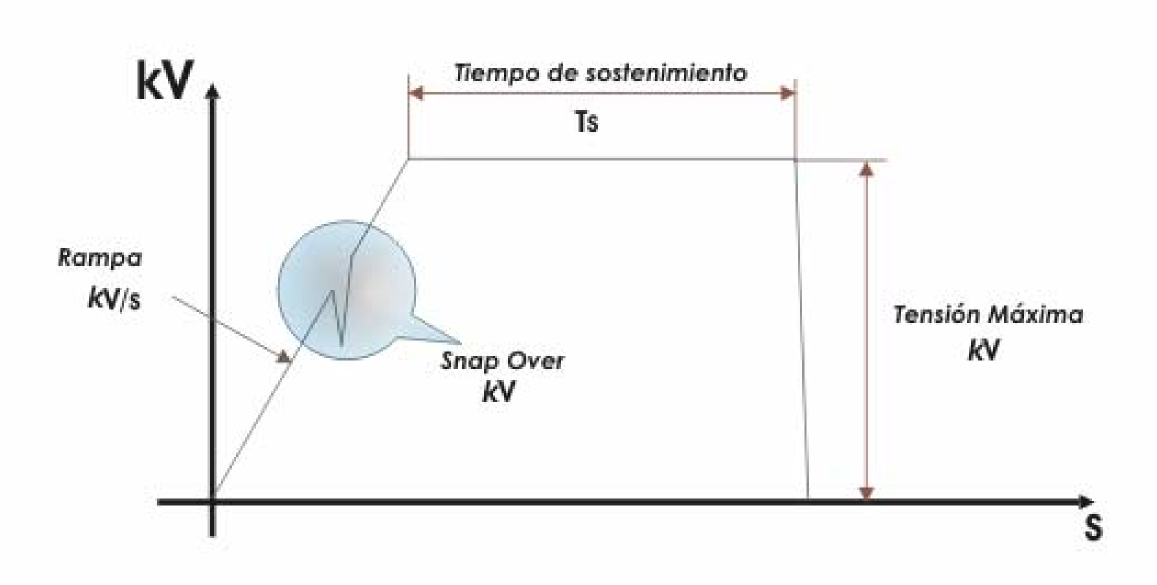
La consola virtual es la interfase con el operador y permite la interacción de este con los diferentes elementos del hardware. El panel inicial cambia según la prueba seleccionada por el operador y secuencialmente entrega información de los pasos durante la ejecución figura 3.17.

Dentro de la consola se establecen tres formas de operación que recogen el funcionamiento de las pruebas enumeradas en el capítulo 1. La prueba tipo *Rampa* cumple con la necesidad de variación y sostenido de pruebas como la de aislamiento o para el ensayo de radio interferencia. La prueba tipo *pasos* que se ajusta al ensayo de efecto corona y la prueba tipo cebado que es procedente para ensayos de pararrayos con tensión de reposición.

3.4.1 Prueba tipo Rampa

Es la prueba básica, se denomina rampa en la consola virtual y consiste en el aumento de tensión a una rata constante hasta una tensión máxima donde se sostiene la posición por un tiempo denominado "tiempo de sostenimiento" luego de lo cual se invierte el sentido de giro y se retorna a la posición inicial. También se puede programar una segunda rampa que se ejecuta desde un porcentaje del valor final de tensión. Los parámetros de operación de esta prueba son:

Figura 3.16 Prueba tipo Rampa



Fuente: Diseño de los autores

1. **Rampa**. Razón de crecimiento de la tensión y esta dada en kV/s figura 3.16.

2. **Tensión máxima**. Valor final hasta el cual llega a lo sumo el crecimiento de tensión y esta dada en kV figura 3.16.

3. **Tiempo de sostenimiento**. Tiempo que permanecerá el eje del autotransformador en la posición de la tensión máxima para la prueba y esta dada en segundos figura 3.16.

4. **Snap Over**. Este parámetro es un rango de caída de tensión admisible sin incurrir en los procedimientos de devolución por flameo o cebado figura 3.16.

3.4.2 Prueba tipo Pasos

Esta prueba toma cuatro parámetros de entrada que generan una trayectoria similar a la observada en la figura 3.17. Los parámetros de entrada son equivalentes a los enumerados en el apartado anterior salvo la tensión de paso que es característica particular de esta prueba y que se refiere a la variación de tensión entre pasos consecutivos. En cuanto al tiempo de sostenimiento en este caso se refiere a la duración estacionaria del eje en la posición del paso un tiempo específico dado en segundos, luego del cual el eje se moverá nuevamente hasta alcanzar la tensión del siguiente paso. El Snap Over sigue consecuentemente siendo un rango de tolerancia a las caídas de tensión.

Figura 3.17 Prueba tipo pasos

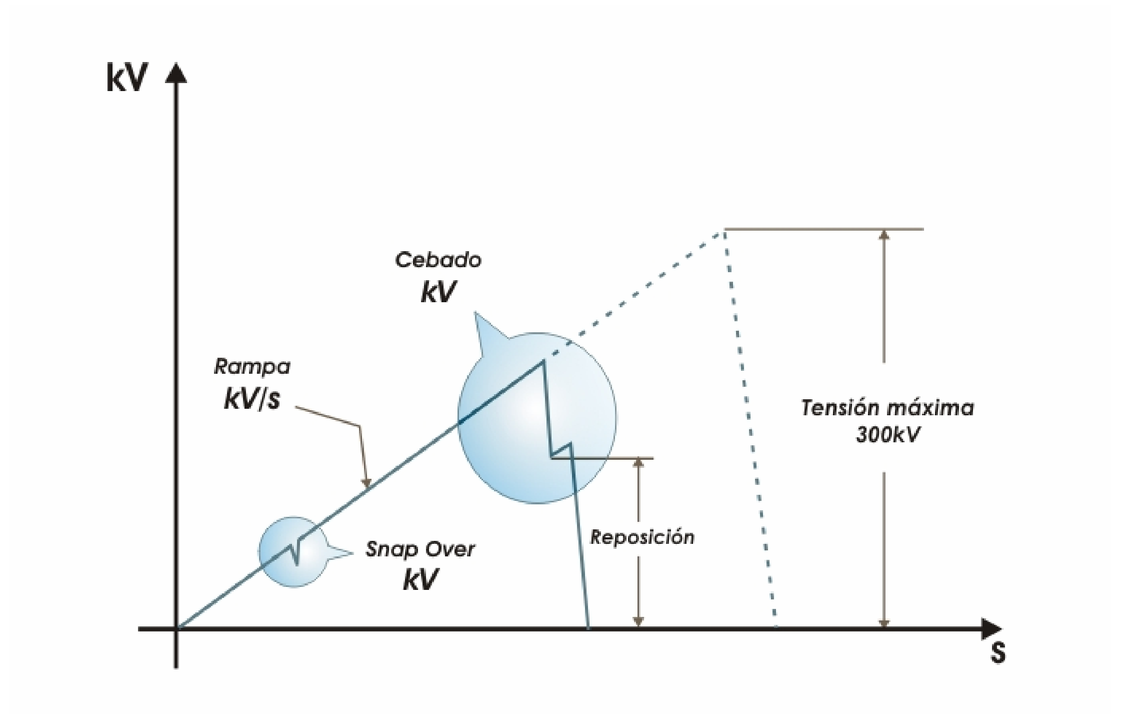
Fuente: Diseño de los autores

3.4.3 Prueba tipo Cebado

El cebado corresponde al punto donde la condición aislante se pierde y entra en conducción. Para encontrar el punto en el que un objeto a prueba se ceba, la prueba aumenta a una rata constante la tensión y espera la aparición de una caída de tensión superior al Snap Over. Cuando el objeto a prueba está cebado el programa de la consola invierte el sentido de giro y comienza un retroceso hasta que detecte una tensión de reposición con la que finaliza la prueba.

En la figura 3.18 se muestran los parámetros que intervienen en la prueba. La rampa es dada por el operador y el eje se moverá hasta encontrar la tensión máxima 300 kV en ausencia de una caída superior al Snap Over.

Figura 3.18 Prueba tipo cebado



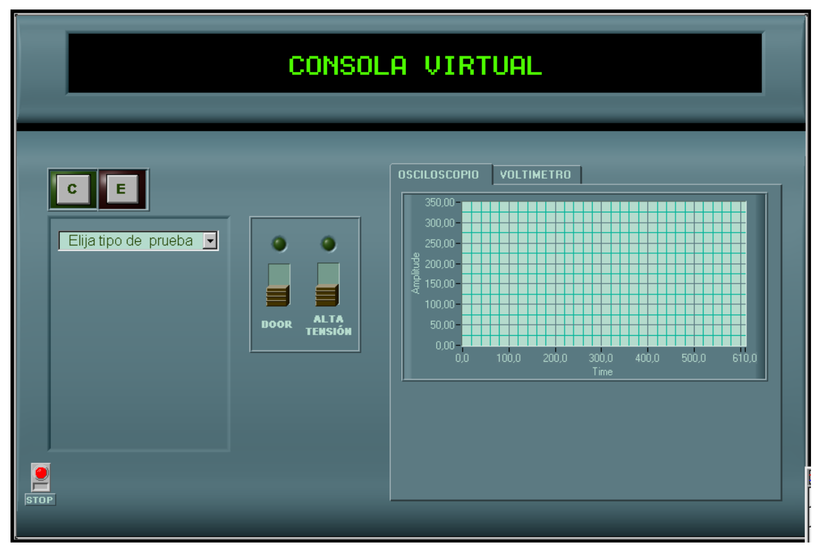
Fuente: Diseño de los autores

3.4.4 Panel de Control Consola Virtual

El panel de control de la consola es el que se observa en la figura 3.19 y es en el que el operador introduce el tipo de prueba, los parámetros para la misma y manipula la ejecución y la detención. En la parte superior la pantalla ofrece mensajes que indican el paso a seguir dentro de la prueba. La grafica en la esquina inferior derecha presenta los datos tomados del canal de voltaje del conversor analógico digital en función del tiempo en que son obtenidos. En el borde inferior izquierdo de la pantalla se muestran

los botones de carga de parámetros y ejecución de la prueba. La operación de estos se hace una vez elegida la prueba tipo a realizar[18].

Figura 3.19 Consola virtual.



Fuente: LabView 6i

La consola exige una vez elegida la prueba una secuencia específica para la carga y ejecución. El primer paso de la consola es la verificación de los interruptores. Si estos están activados mecánicamente la consola emite un mensaje advirtiéndolo y no permite la continuación hasta que los interruptores sean desactivados. Luego emite un mensaje de advertencia para que se verifique la no presencia de personas en la sala de alta tensión antes de enclavar la puerta y luego energizar la consola. Con estas etapas previas cumplidas la consola virtual espera por los parámetros que aparecen según los requiera la prueba. Una vez dados los valores pertinentes el operador debe dar clic en botón de carga y cuando el indicador este activo puede proceder a ejecutar la prueba.

[18] En el manual de usuario anexo C se explica en detalle la forma de operación.

El proceso es sencillo y va acompañado de mensajes que en todo momento advierten el punto en el que la prueba se encuentra.

4. PRUEBAS Y RESULTADOS

Una vez desarrollado el sistema propuesto es preciso efectuar pruebas que indiquen las características y rendimiento del sistema en condiciones de operación normal.

En este diseño en particular fue preciso sintonizar el compensador PID incorporado en el LM629. Este proceso se describe en este capitulo como ilustración del rendimiento del hardware y su versatilidad para ser manipulado desde una aplicación en LabView desarrollada para este propósito especifico.

4.1 SINTONIZACIÓN

La sintonización consiste en un proceso iterativo que pretende encontrar los valores adecuados para el compensador PID incorporado en el controlador del motor LM629. Para facilitar el proceso se implementó un circuito que permite la visualización de la respuesta a un estimulo generado desde la aplicación ***tuning.vi*** desarrollada para este propósito.

4.1.1 Circuito sintonización

El circuito de sintonización sugerido en **[NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. *LM628/629]*** se observa en la figura 2.9 y fue implementado para observar la respuesta del sistema con carga.

El circuito está constituido básicamente de un contador a 8 bits que se resetea cada vez que el LM629 finaliza una trayectoria. Con estos 8 bits de datos se hace una conversión digital analógica. El dato analógico se amplifica y su salida se observa por medio de un osciloscopio digital. La figura 2.8 ilustra la forma de onda obtenida del proceso de sintonización.

4.1.2 VI tuning

El instrumento virtual ***tuning.vi*** se diseñó para facilitar el proceso iterativo de sintonización. Su característica básica es la facilidad para cambiar los coeficientes cargados al controlador del motor LM629 con ajustes de aumento o disminución de estos valores en cantidades programables por el operador. Esta aplicación hace uso de los sub VIs constitutivos de la consola virtual descritos en la sección 3.3.

El panel frontal de la aplicación ***tuning.vi*** contiene controles que permiten la configuración de las palabras de control de los comandos ***LTRJ*** y ***LFIL*** del LM629 como se observa en la figura 4.1.

Figura 4.1 Panel frontal tuning.vi.



Fuente: LabView6i

4.1.3 Proceso de sintonización.

El proceso de sintonización aplicado es el sugerido en la guía de programación del LM629 **[NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. *LM628 Programming Guide*].** En la guía de programación se sugiere que se inicie con valores de cero para todos los coeficientes, salvo para la constante derivativa y el intervalo de muestreo derivativo para los que propone 2 y 1 respectivamente. A partir de este punto se inicia un incremento iterativo de kd hasta que se observen oscilaciones en el eje; punto en el cual se incrementa el ds. Este proceso se repite hasta que se tenga un intervalo de muestreo derivativo adecuado para el sistema[19].

Luego se incrementa el término proporcional e integral buscando que el sistema quede críticamente amortiguado. En este punto la visualización de la respuesta al impulso facilita la comprensión y depuración de los ajustes pertinentes.

4.2 CAUSALES DE SUSPENSIÓN DE LAS PRUEBAS

Dentro de las pruebas realizadas se observó que las fuentes de suspensión cumplieran satisfactoriamente y evitarán la ejecución cuando fuentes de error sean detectadas.

4.2.1 Bandera Sobrecorriente.

La bandera de sobrecorriente, se activa en bajo e indica que en el primario del autotransformador está circulando una corriente superior a la aceptada por el sistema. Para visualizar el efecto de esta bandera se activo el sistema

---

[19] El intervalo de muestreo derivativo debe ser 5 a 10 veces menor que la constante de tiempo mecánica del motor

electromecánico que se encuentra en el interruptor de alto voltaje de la consola de alterna. Al realizar el movimiento mecánico que se produce por la circulación de una corriente igual o mayor a 40 A, la interrupción se produce satisfactoriamente e inicia la secuencia de retroceso después de la suspensión de los interruptores de puerta y alto voltaje.

Adicionalmente se realizó una prueba tipo rampa con un aislador con tensión de ruptura inferior a los 70 kV.

Los parámetros de la prueba fueron:

Rampa	3 kV/s.
Tensión máxima	70 kV/s.
Tiempo de sostenimiento	1 s.
Snap Over	5 kV.

Al llegar a la indicación de 66,402 kV se activó la secuencia de emergencia, interrumpiendo la prueba y emitiendo el mensaje: "Emergencia de sobrecorriente". El dato obtenido por el sistema automático guarda coherencia con las características del aislador.

4.2.2 Parada de emergencia

Esta bandera activá en bajo se implementa como recurso para la seguridad en la operación de la consola y pretende dar un instrumento rápido de suspensión manual ante la eventualidad de un comportamiento anómalo y potencialmente peligroso. Como no se cuenta con este interruptor, para efectos de observar su incidencia en la operación del sistema se utilizó un interruptor de codo. Una vez el interruptor se activó, el sistema se suspendió e inició el retroceso del eje hasta la posición inicial. La operación de la consola por medio del sistema automático no fue posible nuevamente hasta

que el interruptor de codo regresó a su posición inicial, (estado alto de la bandera). Con esta restricción se pretende que en una futura adquisición el sistema no sea operable si el interruptor enclavado por llave no es liberado luego de una emergencia.

4.2.3 Pérdida de comunicación

Con el fin de evitar que la consola virtual pierda el control sobre el sistema, se utilizó el modulo COP del microcontrolador MC68HC908SR12 que reinicia el programa de la interfase serial cuando se desborda (341ms). Para verificar la efectividad de su operación se inició la ejecución de una prueba tipo rampa y mientras se recibían los datos se retiró el cable serial que comunica el PC con la consola de alterna. Inmediatamente se retiró el cable, se suspendió la prueba y el sistema inició la secuencia de devolución. La aplicación en LabView 6i reconoce el error de comunicación y emite el mensaje: "error de comunicación la prueba será suspendida".

4.2.4 Sensor de movimiento

Esta es una bandera implementada para permitir en futuras mejoras, el acondicionamiento de un sensor de movimiento que impida la ejecución si se observa movimiento en la sala de alta tensión. Para probar su efectividad se colocó un pulsador que cambia la normalidad de 1 a 0 lógico. Al obturar el pulsador se suspendió la prueba y el sistema se reinició, tal y como se diseñó.

4.2.5 Accionamiento manual de interruptores

El sistema automático requiere para su total control desde el PC, que los interruptores de alta tensión y enclavamiento de puerta estén mecánicamente en su posición "*off*". Para evitar que una prueba se inicie sin

el control de los interruptores el sistema sensa su normalidad y si encuentra que están activos emite el mensaje: "interruptores activados mecánicamente; la prueba será suspendida", luego de lo cual suspende la ejecución e impide la operación posterior hasta que el interruptor fuente del error sea desactivado.

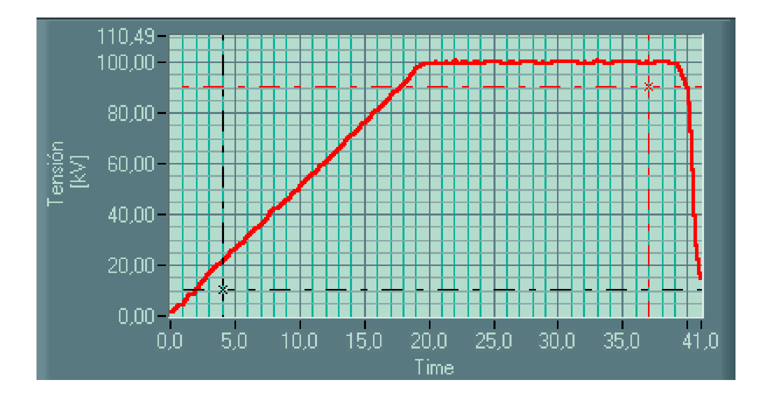
Para verificar que el sistema reconocía esta fuente de error se inició la ejecución de la prueba tipo rampa y se activó el interruptor de alto voltaje; inmediatamente después el sistema inicio la secuencia de devolución y en la aplicación en LabView 6i se emitió el correspondiente mensaje. Se realizó la misma verificación con el interruptor de enclavamiento de puerta y se obtuvo el correspondiente resultado.

4.3 PRUEBA TIPO RAMPA

Esta prueba básica se llevo a cabo con los siguientes parámetros:

1. **Rampa** de 5 kV/s
2. **Tensión máxima** de 100 kV
3. **Tiempo de sostenimiento** de 20 s
4. **Snap Over** de 10 kV.

Figura 4.2 Prueba tipo Rampa obtenida



Fuente: Consola virtual.

4.3.1 Resultados

Los resultados obtenidos constatan el cumplimiento de los requerimientos hechos al sistema automático. Se observa una rampa irregular causada por los imperfectos de la conmutación del autotransformador que presenta en sus delgas un alto grado de deterioro. El eje se detuvo cuando observó por primera vez la tensión máxima y mantuvo la posición hasta cumplir el tiempo de sostenimiento.

En la figura 4.2 se observa la grafica obtenida. La razón de cambio de la tensión es:

$$Rampa = \frac{99{,}569}{19{,}688}\frac{kV}{s} = 5{,}05\frac{kV}{s}$$

$$e_{rampa} = \frac{5{,}05 - 5}{5} * 100 = 1{,}15\%$$

La tensión cuando el eje se encuentra estacionario debería mantenerse fija; sin embargo, se observa una variación máxima de ±0,675 kV alrededor de la media obtenida en 99,945 kV. Este error es atribuible igualmente al mantenimiento de la consola, además de la precisión del conversor analógico digital.

$$e_{t\max} = \frac{100 - 99{,}945}{100} * 100 = 0{,}055\%$$

4.4 PRUEBA TIPO PASOS

Esta prueba implementada con fines experimentales se llevo a cabo con los siguientes parámetros:

5. **Rampa** de 5 kV/s
6. **Paso inicial** de 40 kV
7. **Tensión máxima** de 82,2 kV
8. **Tiempo de sostenimiento** de 20 s
9. **Snap Over** de 10 kV.

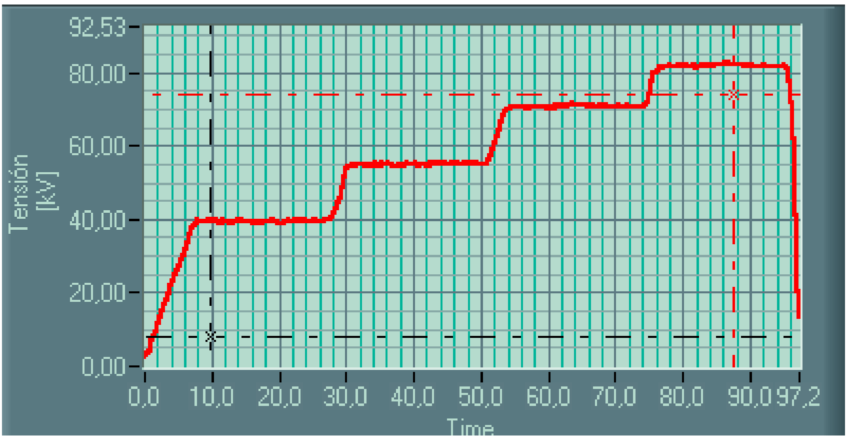


Figura 4.3 Prueba tipo pasos obtenida

Fuente: Consola virtual.

4.4.1 Resultados

En la figura 4.3 se puede ver como en 8 segundos se presenta una leve caída de tensión registrada igualmente en el osciloscopio. Este porcentaje

de error en la rampa; por lo tanto es atribuible a la falta de mantenimiento en la consola.

$$Rampa = \frac{39,914}{7,782}\frac{kV}{s} = 5,12\frac{kV}{s}$$

$$e_{rampa} = \frac{5,12 - 5}{5} * 100 = 2,4\%$$

La variación máxima alrededor del paso inicial es de ±0,517 kV alrededor de la media obtenida en 40,020 kV. Este error es atribuible igualmente al mantenimiento de la consola, además de la precisión del conversor analógico digital.

$$e_{tp_0} = \frac{40,02 - 40}{40} * 100 = 0,05\%$$

4.5 PRUEBA TIPO CEBADO

Para la prueba de cebado se utilizó un pararrayos de Oxido de Silicio que tiene una tensión de cebado cercana a los 44 kV. El sistema respondió con algunos saltos de tensión hasta 32 kV, donde la protección por sobrecorriente se activó y detuvo la prueba. La aplicación software registró la sobrecorriente y reinició el sistema.

4.5.1 Resultados

La protección de sobrecorriente se encuentra alterada, debido a un cambio realizado en la consola por la avería del transformador de corriente original.

Figura 4.4 Transformador de corriente.



Fuente: Transformador de corriente. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Laboratorio de Alta Tensión 2004. [BAUTISTA Ramiro, ROJAS Rodny]. Cámara digital 8 MB memoria 724 x 1068 pixel Cannon A50

El transformador de corriente original de la consola es el que se observa en la parte inferior de la figura 4.4. Este contaba con una relación de transformación ocho a uno,[20] sin embargo, este valor fue alterado cuando se cambió por el transformador de corriente que se observa en la parte superior de la misma figura. La relación del nuevo transformador de corriente es cinco a uno, lo que hace que con corrientes menores a la nominal del transformador, el relé de sobrecorriente se active. Esto implica que la consola no permitirá la circulación de corrientes en el primario del transformador elevador por encima de los 25 A; 15 A por debajo de la protección original.

---

[20] GONZÁLEZ, Sergio A. ROJAS, Ricardo. Automatización de la consola de Corriente Alterna para el laboratorio de Alta Tensión. Bucaramanga, 1996. Pág. 8

CONCLUSIONES

En este trabajo se implementó la automatización de la consola de corriente alterna perteneciente al laboratorio de Alta Tensión de la UIS, para ejecutar automáticamente las pruebas que hasta el momento se realizan con operación manual. Además permite el desarrollo de otras pruebas no normalizadas, debido a la versatilidad en la variación y sensado de la tensión que con el proceso de automatización se posee.

El comportamiento automático del sistema permite una precisión alta en las variaciones de tensión, (la resolución es de 0,5 grados en el eje del sistema variador de tensión; mucho menor del necesario para desplazar en un tap el autotransformador) con razones de cambio ajustables dentro de un rango amplio y suficiente tanto para las pruebas normalizadas, como para otras a las que haya lugar con motivo de investigación.

La versatilidad del sistema de control diseñado permite iniciar una prueba con un incremento lineal de tensión determinado, y en un punto preestablecido mediante un porcentaje de la tensión máxima, variar la razón de cambio de tensión, con lo que aumentan las prestaciones del laboratorio.

La programación flexible implementada en la interfase serial permite un control amplio de las características del controlador del motor LM629 y posibilita la ampliación futura para la lectura de variables

ambientales que son tenidas en consideración en ensayos de alta tensión.

El compensador PID programado en el controlador LM629 causa que el sistema de control presente una respuesta al escalón críticamente amortiguada, garantizando estabilidad, tiempo de respuesta óptimo y cero vibraciones de alta frecuencia en el eje.

Si dentro de procesos de mantenimiento del banco de prueba se alterara la carga en el eje del motor que controla la variación en el bobinado primario del autotransformador, el ajuste pertinente se haría en la aplicación en LabVIEW 6i, una ventaja considerable obtenida de la programación implementada, pero particularmente atribuible a la flexibilidad característica del controlador del motor LM629.

El software especializado de *National Instruments* LabView en su versión 6i es una herramienta poderosa que facilita la programación, al tiempo que permite estética en la implementación de aplicaciones de fácil manipulación para el operador.

La manipulación de los resultados obtenidos en una prueba aumenta considerablemente las prestaciones del sistema y potencia el análisis posterior con las consecuentes ventajas pedagógicas e investigativas.

Los tres tipos de pruebas realizables a través de la consola virtual, recogen las características de ensayos normalizados listados en el capítulo 1, además el posicionador manual implementado, permite la

obtención de tensiones en posiciones sin norma preestablecida, lo cual incorpora mayor versatilidad para el uso del equipo.

El sistema automático requiere para la correcta operación un funcionamiento adecuado de la consola de alterna. El mal funcionamiento de esta, origina incoherencia en las razones de cambio de la tensión, además de la suspensión prematura de las pruebas por rompimientos parciales de aislamiento ficticios. Estos rompimientos ficticios de aislamiento, son registrados por las caídas de tensión que se presentan debido al daño en las delgas que hacen la conmutación de las tensiones dentro de la consola de alterna.

OBSERVACIONES

La consola presenta un alto deterioro en el sistema de variación de tensión, provocando chispas cuando se conmutan las posiciones del eje del autotransformador; esto ocasiona tensiones erradas con la consecuente imposibilidad de colocar valores de *Snap Over* inferiores a 5 kV.

El volante que controla la posición inicial y final del eje variador de tensión, aumentó su fricción con el eje y condujo errores en el sistema automático, obligando la realización de un mantenimiento correctivo. Luego del mantenimiento, el sistema redujo considerablemente su torque por lo cual fue preciso ajustar los valores del compensador PID para que el sistema recobra su comportamiento original.

La lógica cableada que controla el funcionamiento de la consola, presentaba errores que hacían imposible la operación del sistema. Las fallas fueron corregidas con la salvedad del sistema tranca puertas que se encuentra averiado. Para la toma de resultados fue preciso conectar manualmente la señal de la tranca puertas.

Los valores de tensión no son consecuentes con las posiciones del eje del autotransformador, debido al fenómeno de remanencia que se presenta en los transformadores que constituyen el sistema. Por lo tanto la variación del sistema automático se realiza hasta encontrar

las tensiones requeridas por el operador y no hasta encontrar la posición teórica donde debería encontrarse la tensión.

El sistema automático incorpora la posibilidad de la lectura de 3 canales adicionales del conversor analógico digital, con el propósito de permitir la futura implementación de los sensores de variables ambientales, (temperatura, humedad y presión) usadas dentro de las pruebas de alta tensión.

La parada de emergencia fue implementada dentro del sistema automático, y queda supeditada a la compra del pulsador con desenclavamiento por llave usual para estos casos.

El transformador de corriente original de la consola, contaba con una relación de transformación ocho a uno; sin embargo, este valor fue alterado cuando se cambió por un transformador nuevo con relación de transformación cinco a uno que ocasiona que corrientes menores a la nominal del autotransformador, activen el relé de sobrecorriente y suspendan la prueba por la desactivación del contactor principal. Esto implica que la consola no permitirá la circulación de corrientes en el primario del transformador elevador por encima de los 25 A; 15 A por debajo de la protección original.

RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar un mantenimiento correctivo total de la consola ya que su funcionamiento se ha deteriorado demasiado a causa del progresivo daño en sus partes y en particular en las delgas que constituyen el sistema variador de tensión.

Es importante realizar la reparación del sistema trancapuertas que bloquea el acceso al transformador de alta tensión cuando se realizan pruebas.

Es recomendable adquirir un sensor de movimiento que constate la ausencia de personas en el salón de alta tensión, a fin de prevenir accidentes. El sensor de movimiento esta contemplado en el proyecto y su implementación solo requiere el acondicionamiento de su señal para que entregue un bajo que impida la ejecución por detección de movimiento en el aula.

Se recomienda adquirir sensores de temperatura, humedad y presión variables ambientales usadas dentro de las pruebas de alta tensión, y cuya implementación está contemplada en este proyecto.

Una necesidad urgente es la compra del interruptor de enclavamiento con llave para la parada de emergencia que suspende las pruebas manualmente cuando el operador lo considere pertinente.

En futuros mantenimientos se recomienda tener en cuenta este documento, así como el manual del usuario anexo, donde se contemplan los elementos constitutivos del sistema automático. Es de particular mención el sistema óptico que detecta la posición inicial del eje, donde una calibración errada podría procurar el mal funcionamiento del sistema automático.

BIBLIOGRAFÍA

- **[CANTOR, Jhon J. RAMIREZ, Néstor J.]** Manual de seguridad en el Laboratorio de Alta Tensión de la UIS. Bucaramanga, 2003. 103p. Trabajo de grado (Ingeniero Electricista). 2003. 107p. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ciencias Fisicomecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica Electrónica y Telecomunicaciones.

- **[GONZÁLEZ, Sergio A. ROJAS, Ricardo.]** Automatización consola Automatización de la consola de Corriente Alterna para el laboratorio de Alta Tensión. Bucaramanga, 1996. 97p. Trabajo de grado (Ingeniero Electricista). 2003. 107p. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ciencias Fisicomecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica Electrónica y Telecomunicaciones.

- **[VILA CASADO, Raúl.]** Medición de perdidas corona y nivel de interferencia en líneas cortas enmalladas. Bucaramanga 2003. 211p. Trabajo de grado (Magíster en potencia eléctrica). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ciencias Fisicomecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica Electrónica y Telecomunicaciones. Maestría en Potencia Eléctrica.

- **[RUGELES, J. Julio.]** Conferencias. Conceptos básicos en técnicas de alta tensión. Segunda edición, publicación UIS. Bucaramanga. 1991. 70p.

- **[BURR-BROWN CORPORATION ISO122.]** *Precision Lowest Cost ISOLATION AMPLIFIER.* USA, 1993. 15p. http:// www.pci-card.com/iso122p.pdf

- **[NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. *LMD18200]*** *3A, 55V H-BRIDGE.* USA. Diciembre 1999. 13p. http://www.national.com/ds/LM/LMD18200.pdf

- **[NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. *LM628/629]*** *Precision Motion Controller.* USA. Enero 2003. http://www.national.com/ds.cgi/LM/LM628.pdf

- **[NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. *LM628 Programming Guide]*** *Application Note 693.* USA. Enero 1999. http://www.national.com/an/AN/AN-693.pdf

- **[FREESCALE SEMICONDUCTOR, Inc. *MC68HC08 Microcontrollers MOTOROLA MC68HC908SR12/MC68HC08SR12 Technical Data.]*** USA, Febrero 2002.

http://
www.freescale.com/files/microcontrollers/doc/data_sheet/MC68HC908SR12.pdf

- **[*CPU08 Central Processor Unit Reference Manual*]** Motorola, Inc. 2001

  http://www.freescale.com/files/microcontrollers/doc/data_sheet/MC68HC.pdf

- **[NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. LabView Help]** July 2000 edition. Santa Clara, CA. 2000. 272p.

Anexo A



SMALL SIZE DC SERVOMOTORS

Minertia® Motor

F Series B TYPE

Type FB5□20E 6.2 TO 17.4W
Type FB9□20E 9.9 TO 30.8W



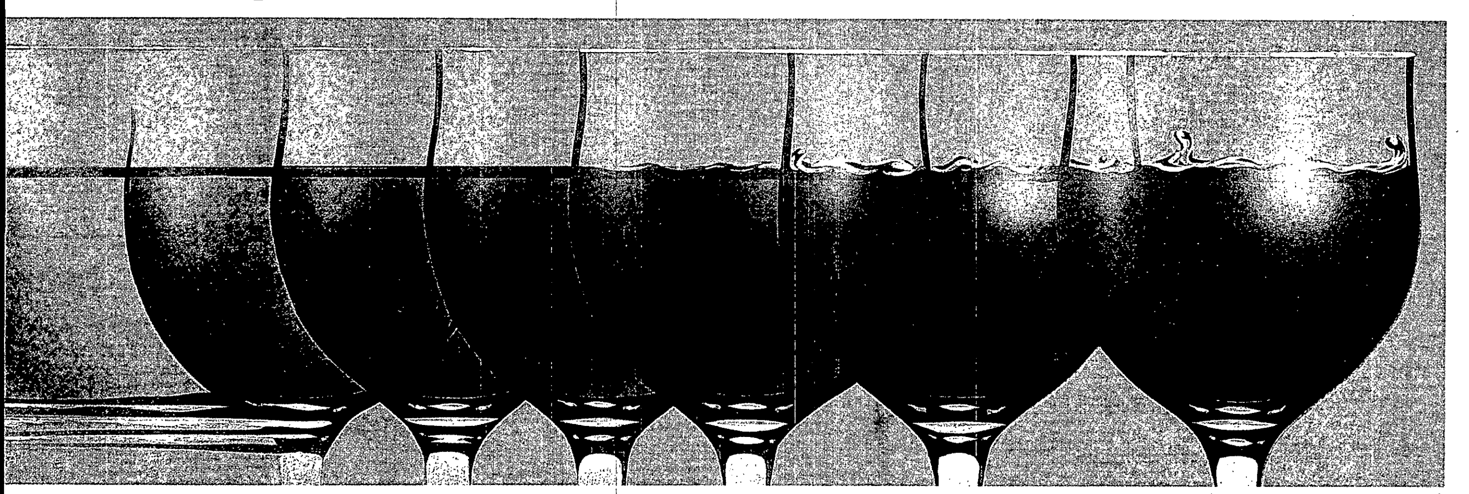
589-64



A BREAKTHROUGH IN OFFICE AUTOMATION

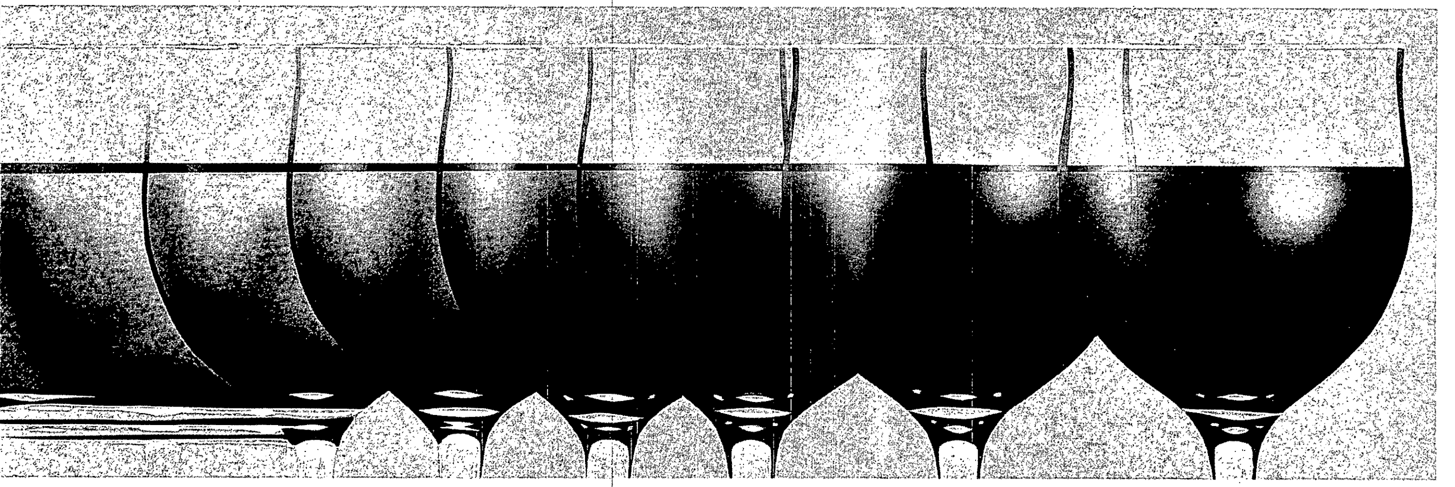
YASKAWA'S DC SERVOMOTORS WITH ENCODER

FROM THIS···

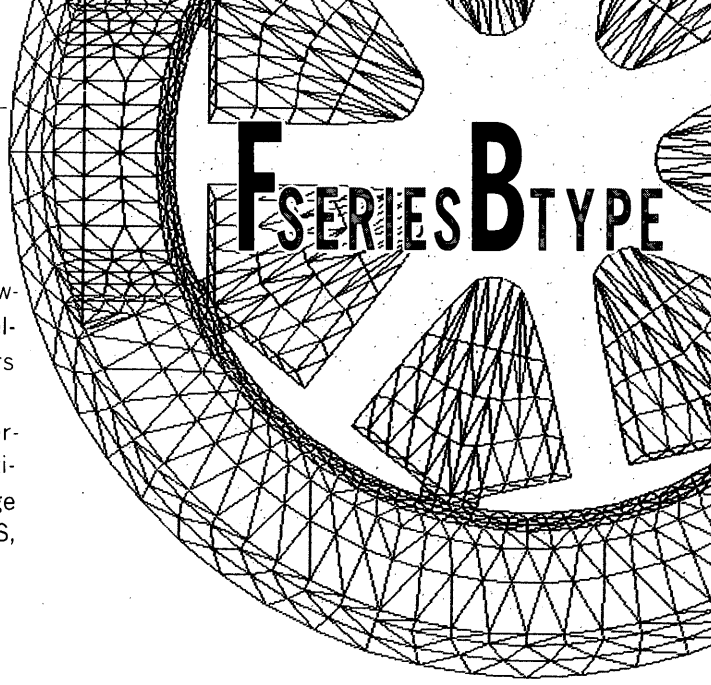


(BY STEPPING MOTORS)

TO THIS···



(BY DC SERVOMOTORS)



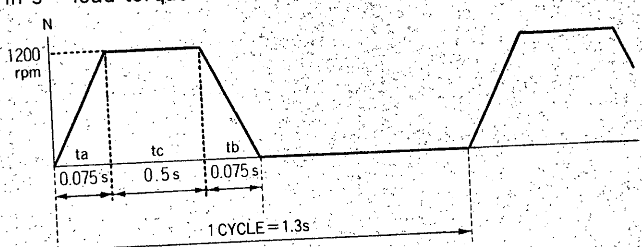
OPTIMUM SPECIAL DESIGN — SMALL AND LIGHT

Normally, stepping motors have been used for serial printers however, DC motors have been employed recently, following the development of multi-function printers. This is because DC servomotors can provide stable drive operation in a wider range of speed. YASKAWA MINERTIA MOTORS F SERIES are small and light DC servomotors which have achieved reduction of torque ripple by optimum special design. F SERIES have been accepted for a large variety of applications, such as SERIAL PRINTERS, PLOTTERS, COPY MACHINES, etc.

MOTOR SELECTION METHOD

<Example>

When FB5M20E is used for printer carriage (load inertia: 8.3×10^{-3} oz. in s^2 load torque: 9.0 oz. in) in the following duty.



Load inertia: $J_L = 8.3\times10^{-3}$ oz·in·s^2 Load torque: $T_L = 9.0$ oz·in

Motor inertia: $J_M = 0.86\times10^{-3}$ oz·in·s^2

Acceleration torque Tpa $= \frac{2\pi\times N(J_M+J_L)}{60\times Ta} + T_L = \frac{2\pi\times1200(0.86+8.3)\times10^{-3}}{60\times0.075} + 9.0 = 24$ oz·in

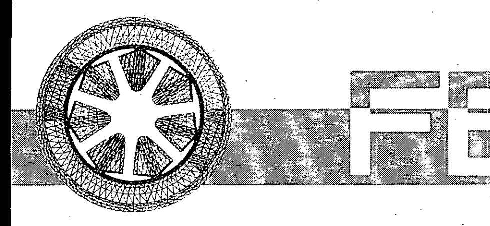
Deceleration torque Tpb $= \frac{2\pi\times N(J_M+J_L)}{60\times Tb} - T_L = \frac{2\pi\times1200(0.86+8.3)\times10^{-3}}{60\times0.075} - 9.0 = 6.30$ oz·in

Actual torque Trms $= \sqrt{\frac{Tpa^2\times ta + T_L^2\times tc + Tpb^2\times tb}{t}} = \sqrt{\frac{24^2\times0.075+9.0^2\times0.5+6.3^2\times0.075}{1.3}}$

$= 8.2$ oz·in

Since it is found from specifications and characteristic tables that FB5M20E rating torque is 8.3 oz·in and peak torque is 38.90 oz·in, this motor can be used.

988-123



■RATINGS AND SPECIFICATIONS

Specifications	Type	FB5T20E	FB5S20E	FB5M20E	FB5L20E
Peak Rated Torque	oz. in	22.2	26.4	38.9	55.6
Rated Torque	oz. in	4.2	5.6	8.3	11.8
Torque Constant	oz. in/amp	5.1	10.3	13.1	8.38
Armature Winding Resistance	Ω	6.2	12.5	11.2	3.1
Armature Inductance	mH	2.4	6.0	6.2	1.9
Peak Current	A	4.4	2.6	3.0	6.7
Induced Voltage Constant	V/1000r/min	3.8	7.6	9.7	6.2
Viscous Damping Coefficient	oz. in/1000r/min	0.056	0.083	0.125	0.14
Friction Torque	oz. in	0.56	0.69	0.83	0.97
Inertia (With Encoder)	oz. in. sec^2×10^{-3}	0.42	0.63	0.86	1.1
Mechanical Time Constant	millisec	14	10.5	8.4	6.9
Electrical Time Constant	millisec	0.39	0.48	0.55	0.61
Power Rate	kW/sec	0.29	0.35	0.57	0.90
Torque Inertia Ratio	rad/sec^2	10000	8880	9670	10760
Rated Speed	r/min	2000	2000	2000	2000
Max. Safe Operating Speed	r/min	4000	4000	4000	4000
Rated Voltage	V	16.1	26.0	30.0	19.4
Rated Current	A	1.0	0.66	0.76	1.66
Constant Output	W	6.2	8.2	12.3	17.4

- Time Rating: Continuous
- Dielectric Strength: 500VAC/1 min
- Applicable Environment:
  Applicable Location: Indoor
  Ambient Temperature: −10 to +40°C
  Humidity: 80% RH Max.

- Direction of Rotation:
  When (+) current is supplied to terminals with red cap, it rotates counterclockwise from the drive end.

FASTON 187 SERIES TAB
or equivalent

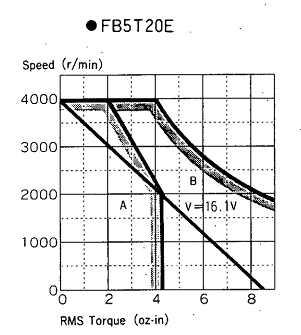
.187
.126
.250
.051 DIA

The values described above are those with HA type encoder.
With HS type encoder (200, 240 pulses), some values differ since the inertia is larger.

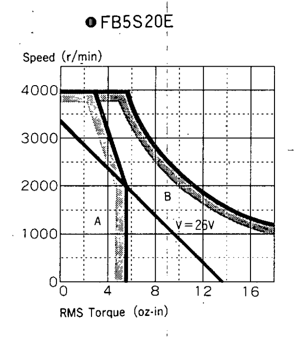
Inertia 200 pulses + 0.11×10^{-3} oz. in. sec^2
240 pulses + 0.24×10^{-3} oz. in. sec^2

■SPEED-TORQUE-CURRENT CHARACTERISTICS

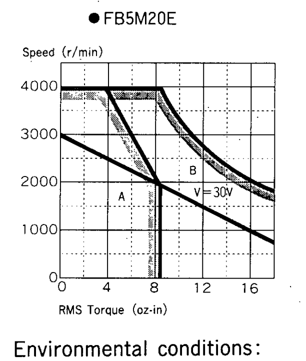
● FB5T20E



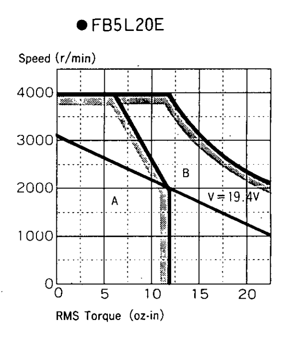
● FB5S20E



● FB5M20E



● FB5L20E



A: Area of safe continuous duty without air cooling.
B: Area of intermittent duty.

Environmental conditions:
Temperature 25°C Humidity 80% max.

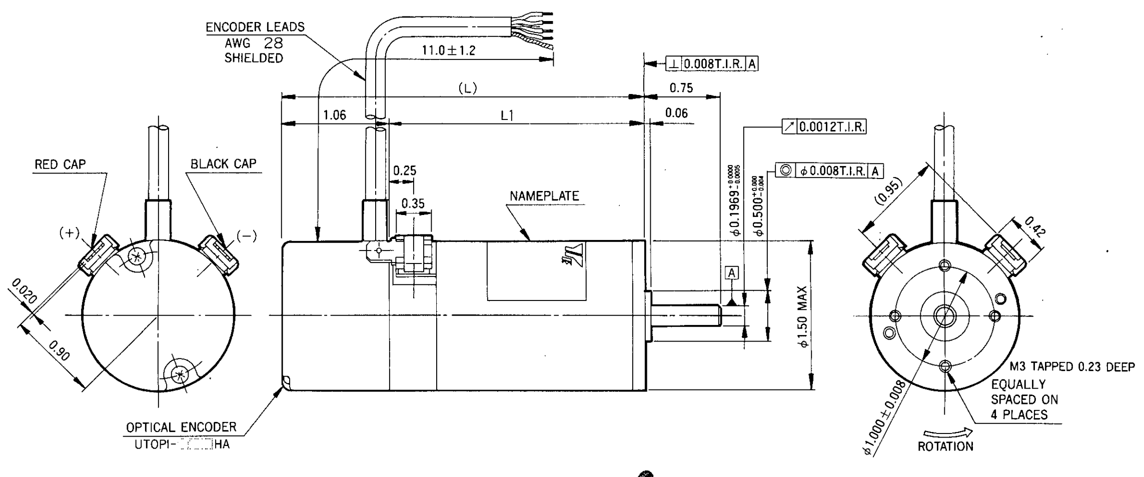
Note: Motor mounted on 4 in × 4 in × 1/8 in heat sink.

Curve data for an armature temp. of 100°C

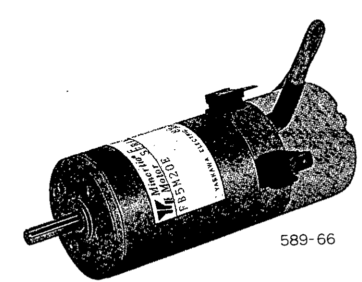
WITH HIGH ACCURACY ENCODER "HA" TYPE

200 to 1000 pulses/rev

DIMENSIONS in inches



TYPE	L1	L
FB5T20E	1.72	2.78
FB5S20E	2.15	3.21
FB5M20E	2.56	3.62
FB5L20E	2.96	4.02



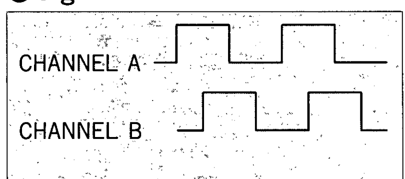
589-66

OPTICAL ENCODER CHARACTERISTIC TABLES

TYPE	P/rev
UTOPI-020HA	200
UTOPI-025HA	250
UTOPI-02BHA	288
UTOPI-040HA	400
UTOPI-050HA	500
UTOPI-060HA	600
UTOPI-080HA	800
UTOPI-100HA	1000

Input Power Requirement	+5VDC ±5% 100mA Max.
Waveform	Square Wave
Output Circuit	TTL Compatible
Flutter	360° ±18° (10%p-p Max.)
Pulse Duty Cycle	180° ±36° (50±10%)
Phase Offset	90° ±40° (25±11%)
Frequency Range	50kHz

●Signal Waveform



(CCW ROTATION WHEN VIEWED FROM SHAFT DRIVE END)

●Encoder Lead

INPUT	RED	+5VDC
	BLACK	OV
OUTPUT	WHITE	CHANNEL A
	GREEN	CHANNEL B
	SHIELD	—

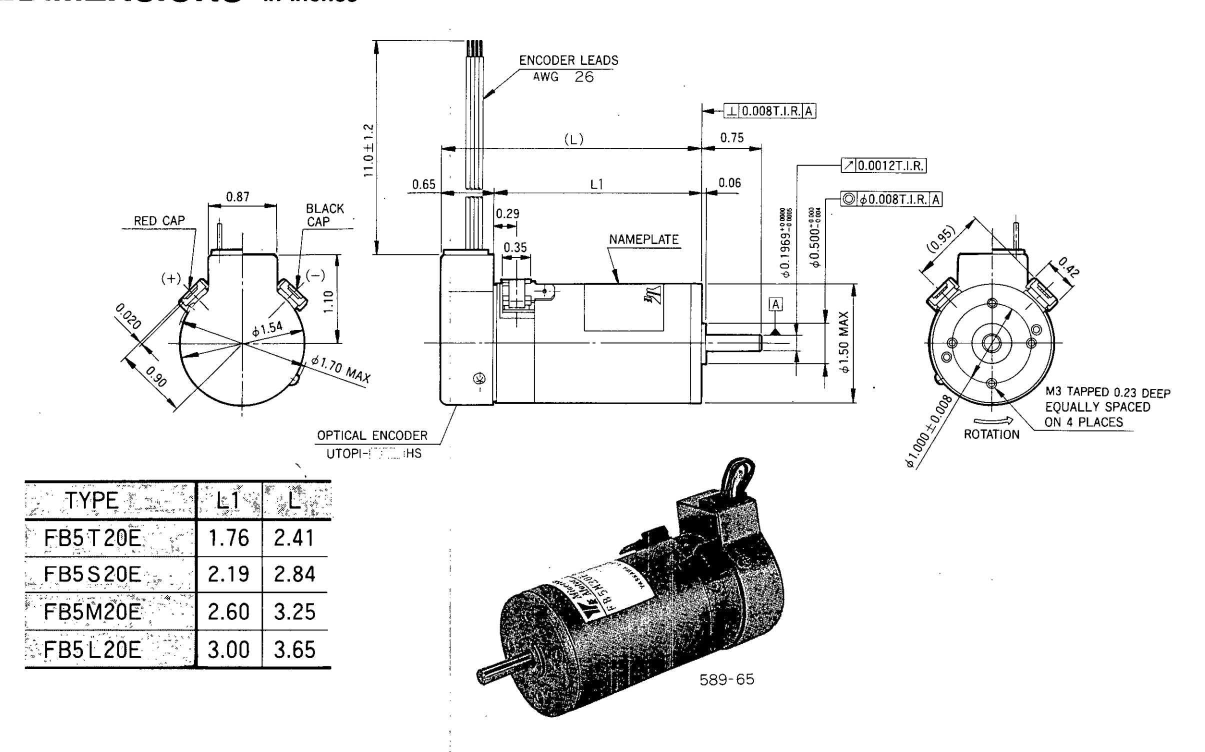
NOTE

- The relation of A and B channels to the motor rotating direction must correctly be set. If not so, overtravel may occur.
- Avoid vibration or shock on the encoder or its output shaft.
- Do not perform the insulation test or measure the insulation resistance.

WITH LOW COST ENCODER "HS" TYPE

72 to 144 pulses/rev

■DIMENSIONS in inches



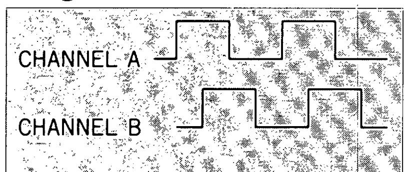
TYPE	L1	L
FB5T20E	1.76	2.41
FB5S20E	2.19	2.84
FB5M20E	2.60	3.25
FB5L20E	3.00	3.65

■OPTICAL ENCODER CHARACTERISTIC TABLES

TYPE	P/rev
UTOPI-007HS	72
UTOPI-010HS	100
UTOPI-012HS	120
UTOPI-014HS	144

Input Power Requirement	+5VDC±5% 100mA Max.
Waveform	Square Wave
Output Circuit	TTL Compatible
Flutter	360° ±4.5° (2.5%p-p Max.)
Pulse Duty Cycle	180° ±54° (50±15%)
Phase Offset	90° ±54° (25±15%)
Frequency Range	10kHz

●Signal Waveform



(CCW ROTATION WHEN VIEWED FROM SHAFT DRIVE END)

●Encoder Lead

INPUT	RED	+5VDC
	BLACK	OV
OUTPUT	WHITE	CHANNEL A
	GREEN	CHANNEL B

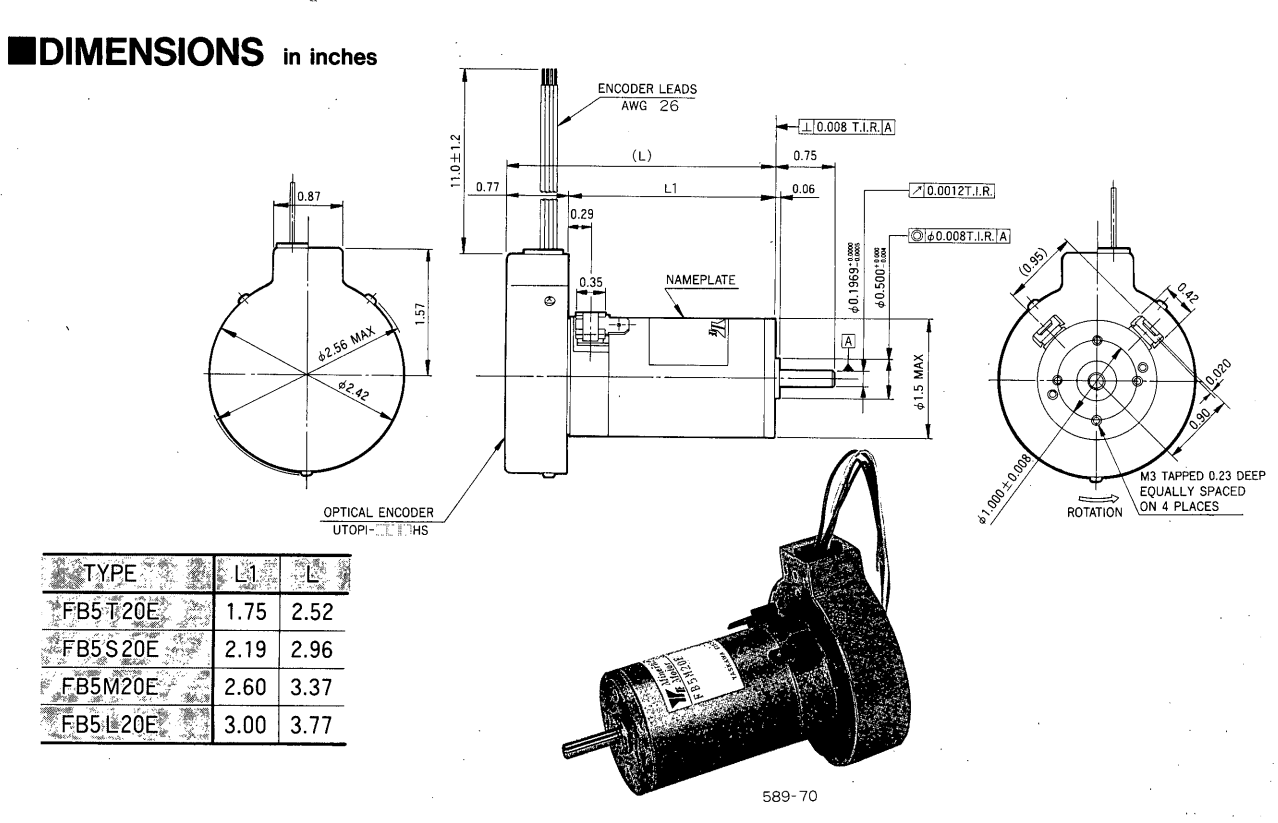
NOTE

- The relation of A and B channels to the motor rotating direction must correctly be set. If not so, overtravel may occur.
- Avoid vibration or shock on the encoder or its output shaft.
- Do not perform the insulation test or measure the insulation resistance.

WITH LOW COST ENCODER "HS" TYPE

200 to 240 pulses/rev

DIMENSIONS in inches



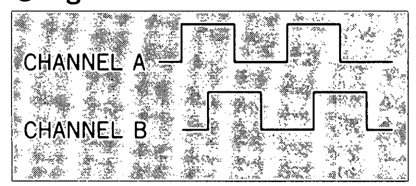
TYPE	L1	L
FB5T20E	1.75	2.52
FB5S20E	2.19	2.96
FB5M20E	2.60	3.37
FB5L20E	3.00	3.77

OPTICAL ENCODER CHARACTERISTIC TABLES

TYPE	P/rev
UTOPI-020HS	200
UTOPI-024HS	240

Input Power Requirement	+5VDC ±5% 100mA Max.
Waveform	Square Wave
Output Circuit	TTL Compatible
Flutter	360° ±4.5° (2.5%p-p Max.)
Pulse Duty Cycle	180° ±54° (50±15%)
Phase Offset	90° ±54° (25±15%)
Frequency Range	10kHz

●Signal Waveform



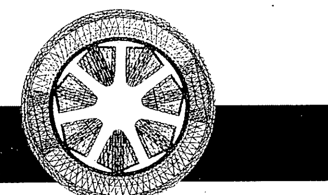
(CCW ROTATION WHEN VIEWED FROM SHAFT DRIVE END)

●Encoder Lead

INPUT	RED	+5VDC
	BLACK	OV
OUTPUT	WHITE	CHANNEL A
	GREEN	CHANNEL B

NOTE

- The relation of A and B channels to the motor rotating direction must correctly be set. If not so, overtravel may occur.
- Avoid vibration or shock on the encoder or its output shaft.
- Do not perform the insulation test or measure the insulation resistance.



FB9 20E

■RATINGS AND SPECIFICATIONS

Specifications	Type	FB9T20E	FB9S20E	FB9E20E	FB9M20E	FB9L20E
Peak Rated Torque	oz. in	38.9	61.1	77.8	128	156
Rated Torque	oz. in	11.1	16.7	22.2	29.2	34.7
Torque Constant	oz. in/amp	7.0	10.8	14.5	15.3	16.5
Armature Winding Resistance	Ω	4.1	5.3	6.4	4.2	3.9
Armature Inductance	mH	1.9	2.8	3.6	2.6	2.6
Peak Current	A	5.7	5.7	5.7	8.5	9.5
Induced Voltage Constant	V/1000r/min	5.2	8.0	10.7	11.3	12.2
Viscous Damping Coefficient	oz. in/1000r/min	0.43	0.50	0.58	1.86	0.85
Friction Torque	oz. in	1.10	1.31	1.53	2.22	2.36
Inertia (With Encoder)	oz. in. $sec^2 \times 10^{-3}$	1.94	2.64	3.13	4.61	5.69
Mechanical Time Constant	millisec	22.8	16.9	14.0	11.7	11.5
Electrical Time Constant	millisec	0.46	0.53	0.56	0.62	0.67
Power Rate	KW/sec	0.45	0.74	1.10	1.30	1.50
Torque Inertia Ratio	rad/sec^2	5710	6320	7110	6330	6100
Rated Speed	r/min	1200	1200	1200	1200	1200
Max. Safety Operating speed	r/min	3500	3500	3500	3500	3500
Rated Voltage	V	18.1	23.7	30.0	27.0	28.1
Rated Current	A	2.0	1.90	1.95	2.33	2.54
Constant Output	W	9.9	14.8	19.7	25.9	30.8

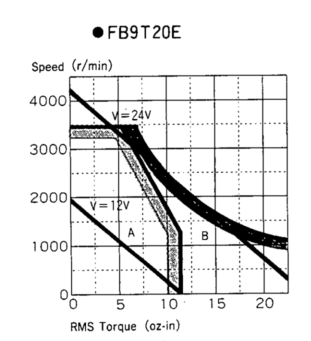
- Time Rating: Continuous
- Dielectric Strength: 500VAC/1 min
- Applicable Environment
  - Applicable Location: Indoor
  - Ambient Temperature: −10 to +40°C
  - Humidity: 80% Max.
- Direction of Rotation: When (+) current is supplied to the red lead it rotates counterclockwise viewed from drive end.

The values described above are those with HA type encoder.
With HS type encoder (200, 240 pulses), some values differ since the inertia is larger.

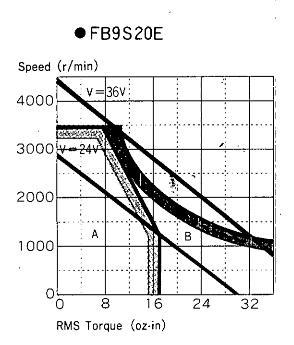
Inertia 200 pulses $+ 0.11 \times 10^{-3}$ oz. in. sec^2
240 pulses $+ 0.24 \times 10^{-3}$ oz. in. sec^2

■SPEED-TORQUE CURRENT CHARACTERISTICS

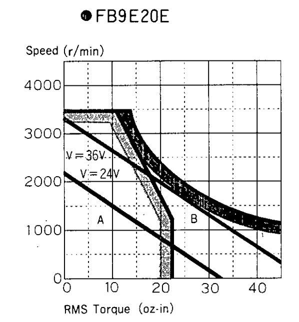
●FB9T20E



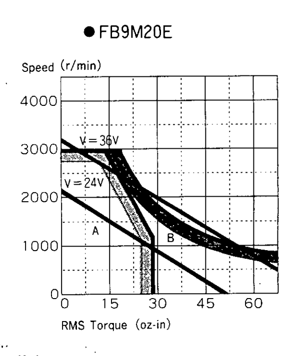
●FB9S20E



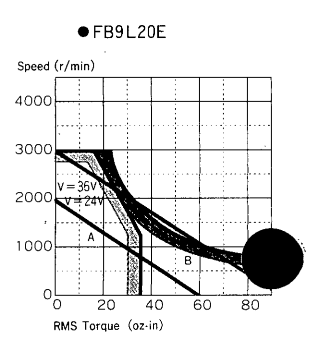
●FB9E20E



●FB9M20E



●FB9L20E



A: Area of safe continuous duty without air cooling.
B: Area of intermittent duty.

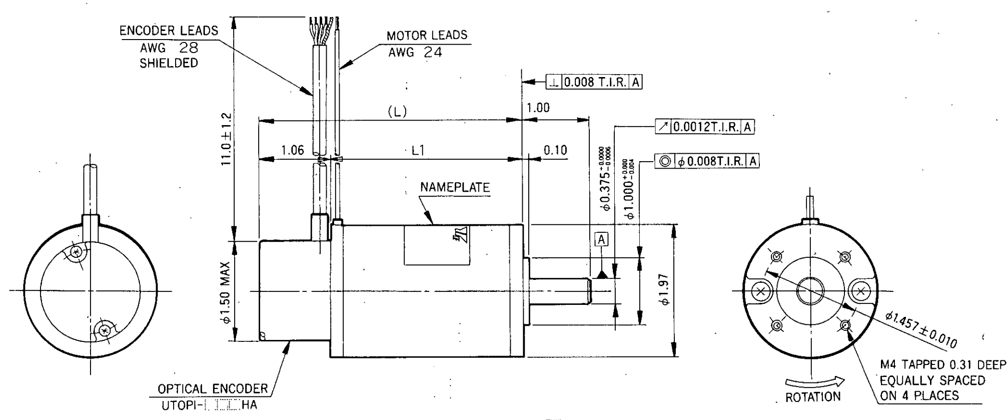
Environmental conditions:
Temperature 25°C Humidity 80% max.

Note: Motor mounted on 10 in × 10 in × 1/4 in heat sink. Curve data for an armature temp. of 125°C

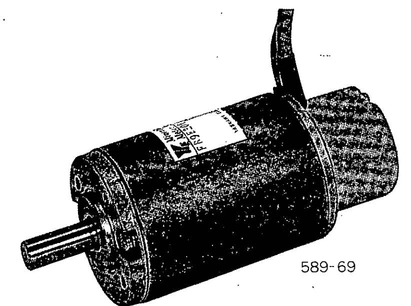
WITH HIGH ACCURACY ENCODER "HA" TYPE

200 to 1000 pulses/rev

DIMENSIONS in inches



TYPE	L1	L
FB9T20E	2.11	3.17
FB9S20E	2.50	3.56
FB9E20E	2.90	3.96
FB9M20E	3.69	4.75
FB9L20E	4.28	5.34



OPTICAL ENCODER CHARACTERISTIC TABLES

TYPE	P/rev
UTOPI-020HA	200
UTOPI-025HA	250
UTOPI-02BHA	288
UTOPI-040HA	400
UTOPI-050HA	500
UTOPI-060HA	600
UTOPI-080HA	800
UTOPI-100HA	1000

Input Power Requirement	+5VDC±5% 100mA Max.
Waveform	Square Wave
Output Circuit	TTL Compatible
Flutter	360°±18° (10%p-p Max.)
Pulse Duty Cycle	180° ±36° (50±10%)
Phase Offset	90° ±40° (25±11%)
Frequency Range	50kHz

●Signal Waveform

CHANNEL A

CHANNEL B

(CCW ROTATION WHEN VIEWED FROM SHAFT DRIVE END)

●Encoder Lead

INPUT	RED	+5VDC
	BLACK	OV
OUTPUT	WHITE	CHANNEL A
	GREEN	CHANNEL B
	SHIELD	–

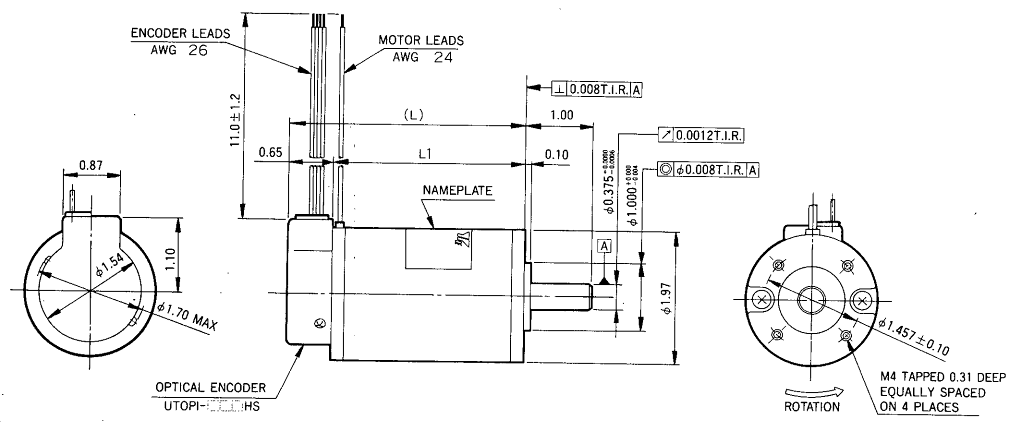
NOTE

- The relation of A and B channels to the motor rotating direction must correctly be set. If not so, overtravel may occur.
- Avoid vibration or shock on the encoder or its output shaft.
- Do not perform the insulation test or measure the insulation resistance.

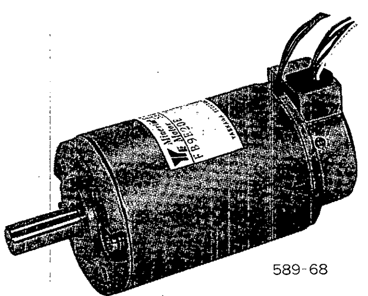
WITH LOW COST ENCODER "HS" TYPE

72 to 144 pulses/rev

■DIMENSIONS in inches



TYPE	L1	L
FB9T20E	2.11	2.76
FB9S20E	2.50	3.15
FB9E20E	2.90	3.55
FB9M20E	3.69	4.34
FB9L20E	4.28	4.93



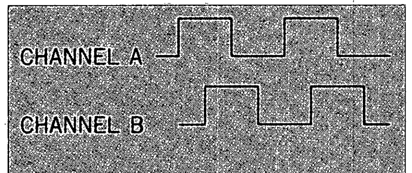
589-68

■OPTICAL ENCODER CHARACTERISTIC TABLES

TYPE	P/rev
UTOPI-007HS	72
UTOPI-012HS	120
UTOPI-014HS	144

Input Power Requirement	+5VDC±5% 100mA Max.
Waveform	Square Wave
Output Circuit	TTL Compatible
Flutter	360° ±4.5° (2.5%p-p Max.)
Pulse Duty Cycle	180° ±54° (50±15%)
Phase Offset	90° ±54° (25±15%)
Frequency Range	10kHz

●Signal Waveform



(CCW ROTATION WHEN VIEWED FROM SHAFT DRIVE END)

●Encoder Lead

INPUT	RED	+5VDC
	BLACK	OV
OUTPUT	WHITE	CHANNEL A
	GREEN	CHANNEL B

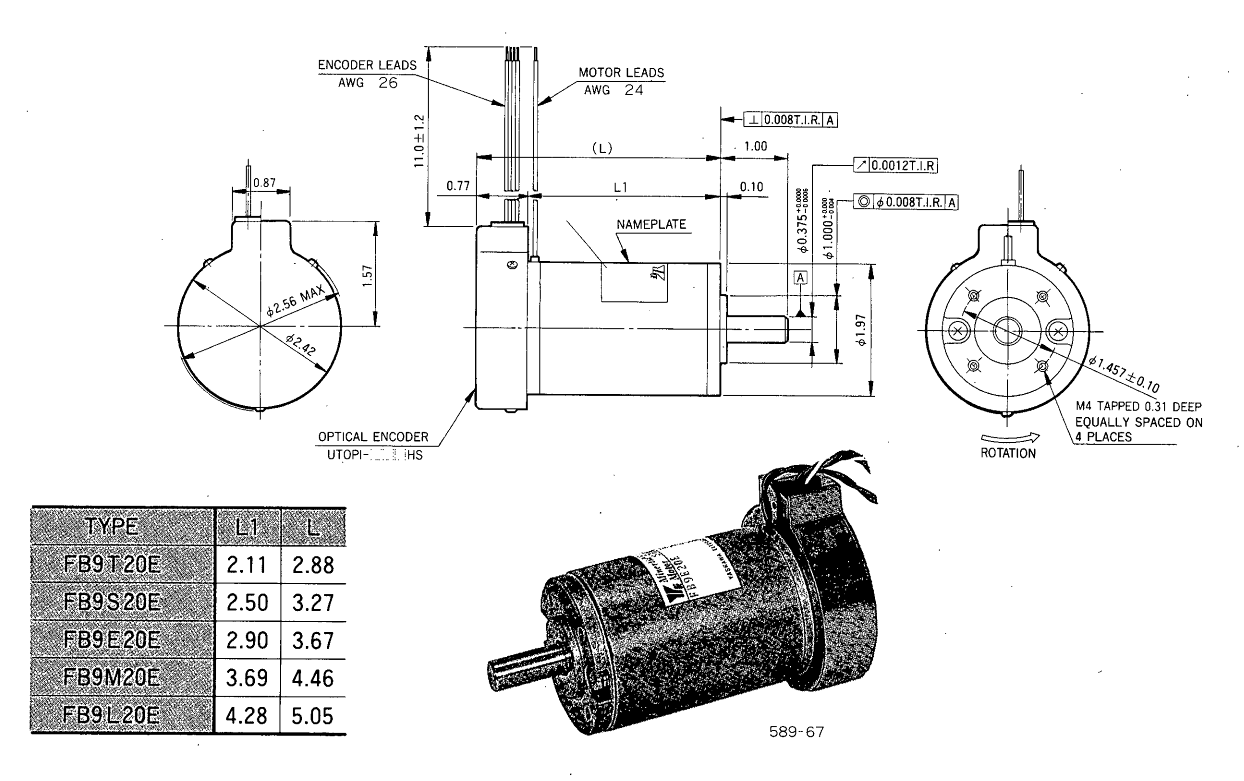
NOTE

- The relation of A and B channels to the motor rotating direction must correctly be set. If not so, overtravel may occur.
- Avoid vibration or shock on the encoder or its output shaft.
- Do not perform the insulation test or measure the insulation resistance.

WITH LOW COST ENCODER "HS" TYPE

200 to 240 pulses/rev

■DIMENSIONS in inches



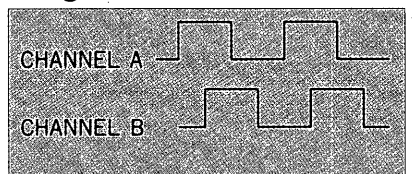
TYPE	L1	L
FB9T20E	2.11	2.88
FB9S20E	2.50	3.27
FB9E20E	2.90	3.67
FB9M20E	3.69	4.46
FB9L20E	4.28	5.05

■OPTICAL ENCODER CHARACTERISTIC TABLES

TYPE	P/rev
UTOPI-020HS	200
UTOPI-024HS	240

Input Power Requirement	+5VDC±5% 100mA Max.
Waveform	Square Wave
Output Circuit	TTL Compatible
Flutter	360° ±4.5° (2.5%p-p Max)
Pulse Duty Cycle	180° ±54° (50±15%)
Phase Offset	90° ±54° (25±15%)
Frequency Range	10kHz

●Signal Waveform



(CCW ROTATION WHEN VIEWED
FROM SHAFT DRIVE END)

●Encoder Lead

INPUT	RED	+5VDC
	BLACK	0V
OUTPUT	WHITE	CHANNEL A
	GREEN	CHANNEL B

NOTE

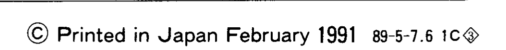
- The relation of A and B channels to the motor rotating direction must correctly be set. If not so, overtravel may occur.
- Avoid vibration or shock on the encoder or its output shaft.
- Do not perform the insulation test or measure the insulation resistance.

A Better Tomorrow for Industry through Automation

YASKAWA Electric Mfg. Co., Ltd.

TOKYO OFFICE Ohtemachi Bldg., 1-6-1 Ohtemachi, Chiyoda-ku, Tokyo, 100 Japan
Phone (03) 3284-9111, -9145 Telex YASKAWA J33530 Fax (03) 3284-9034
SEOUL OFFICE Seoul Center Bldg., 91-1, So Kong-Dong, Chung-Ku, Seoul, Korea
Phone (02) 776-7844 Fax (02) 753-2639
SINGAPORE OFFICE CPF Bldg., 79 Robinson Road No. 24-03, Singapore 0106
Phone 2217530 Telex (87) 24890 YASKAWA RS Fax (65) 224-5854
TAIPEI OFFICE Union Commercial Bldg., 137, Nanking East Road, Sec. 2, Taipei, Taiwan
Phone (02) 507-7065,-7732 Fax (02) 506-3837
YASKAWA ELECTRIC AMERICA, INC.: SUBSIDIARY
Chicago Office (Head Office) 3160 MacArthur Blvd.,Northbrook, Illinois 60062-1917,U.S.A.
Phone (708) 291-2340, 291-2348 Telex (230) 270197 YSKW YSNC NBRK Fax (708) 498-2430, 480-9731
Los Angeles Office 7341 Lincoln Way, Garden Grove, California 92641, U. S. A.
Phone (714) 894-5911 Telex (230) 678396 YASKAWAUS TSTN Fax (714) 894-3258
New Jersey Office 30 Two Bridges Road, Fairfield, New Jersey 07006, U. S. A.
Phone (201) 575-5940 Fax (201) 575-5947
YASKAWA ELECTRIC EUROPE GmbH: SUBSIDIARY
Niederhöchstädter Straβe 71-73, W 6242 Kronberg-Oberhöchstadt, Germany
Phone (06173) 640071, 640072, 640073 Telex 415660 YASE D Fax (06173) 68421
YASKAWA ELÉTRICO DO BRASIL COMÉRCIO LTDA.: SUBSIDIARY
Av. Brig. Faria Lima, 1664-cj. 721/724, Pinheiros, São Paulo-SP, Brasil CEP-01452
Phone (011) 813-3933, 813-3694 Telex (011) 82869 YSKW BR Fax (011) 815-8795

Due to ongoing product modification/improvement, data subject to change without notice.


© Printed in Japan February 1991 89-5-7.6 1C



January 2003

LM628/LM629 Precision Motion Controller

General Description

The LM628/LM629 are dedicated motion-control processors designed for use with a variety of DC and brushless DC servo motors, and other servomechanisms which provide a quadrature incremental position feedback signal. The parts perform the intensive, real-time computational tasks required for high performance digital motion control. The host control software interface is facilitated by a high-level command set. The LM628 has an 8-bit output which can drive either an 8-bit or a 12-bit DAC. The components required to build a servo system are reduced to the DC motor/actuator, an incremental encoder, a DAC, a power amplifier, and the LM628. An LM629-based system is similar, except that it provides an 8-bit PWM output for directly driving H-switches. The parts are fabricated in NMOS and packaged in a 28-pin dual in-line package or a 24-pin surface mount package (LM629 only). Both 6 MHz and 8 MHz maximum frequency versions are available with the suffixes -6 and -8, respectively, used to designate the versions. They incorporate an SDA core processor and cells designed by SDA.

Features

- 32-bit position, velocity, and acceleration registers
- Programmable digital PID filter with 16-bit coefficients
- Programmable derivative sampling interval
- 8- or 12-bit DAC output data (LM628)
- 8-bit sign-magnitude PWM output data (LM629)
- Internal trapezoidal velocity profile generator
- Velocity, target position, and filter parameters may be changed during motion
- Position and velocity modes of operation
- Real-time programmable host interrupts
- 8-bit parallel asynchronous host interface
- Quadrature incremental encoder interface with index pulse input
- Available in a 28-pin dual in-line package or a 24-pin surface mount package (LM629 only)

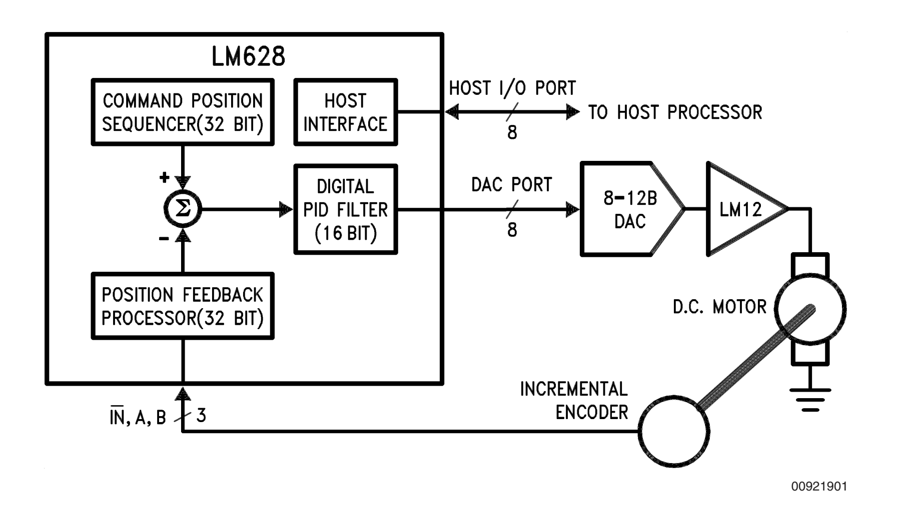


FIGURE 1. Block Diagram

TRISTATE&® is a registered trademark of National Semiconductor Corporation.

Connection Diagrams

LM628N

Pin	Name	Pin	Name
1	$\overline{IN}$	28	V_{DD}
2	A	27	$\overline{RST}$
3	B	26	CLK
4	D7	25	DAC0
5	D6	24	DAC1
6	D5	23	DAC2
7	D4	22	DAC3
8	D3	21	DAC4
9	D2	20	DAC5
10	D1	19	DAC6
11	D0	18	DAC7
12	$\overline{CS}$	17	HI
13	$\overline{RD}$	16	$\overline{PS}$
14	GND	15	$\overline{WR}$

00921902

LM629N

Pin	Name	Pin	Name
1	$\overline{IN}$	28	V_{DD}
2	A	27	$\overline{RST}$
3	B	26	CLK
4	D7	25	NC
5	D6	24	NC
6	D5	23	NC
7	D4	22	NC
8	D3	21	NC
9	D2	20	NC
10	D1	19	PWM MAG
11	D0	18	PWM SIGN
12	$\overline{CS}$	17	HI
13	$\overline{RD}$	16	$\overline{PS}$
14	GND	15	$\overline{WR}$

00921903

LM629M

Pin	Name	Pin	Name
1	*NC	24	D3
2	D2	23	D4
3	D1	22	D5
4	D0	21	D6
5	$\overline{CS}$	20	D7
6	$\overline{RD}$	19	B
7	GND	18	A
8	$\overline{WR}$	17	$\overline{IN}$
9	$\overline{PS}$	16	V_{DD}
10	HI	15	$\overline{RST}$
11	PWM SIGN	14	CLK
12	*NC	13	PWM MAG

00921921

*Do not connect.

Order Number LM629M-6, LM629M-8, LM628N-6, LM628N-8, LM629N-6 or LM629N-8
See NS Package Number M24B or N28B

Absolute Maximum Ratings (Note 1)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/ Distributors for availability and specifications.

Voltage at Any Pin with Respect to GND	−0.3V to +7.0V
Ambient Storage Temperature	−65˚C to +150˚C
Lead Temperature	
28-pin Dual In-Line Package (Soldering, 4 sec.)	260˚C
24-pin Surface Mount Package (Soldering, 10 sec.)	300˚C
Maximum Power Dissipation ($T_A \le 85$˚C, (Note 2)	605 mW
ESD Tolerance (C_{ZAP} = 120 pF, R_{ZAP} = 1.5k)	1000V

Operating Ratings

Temperature Range	−40˚C < T_A < +85˚C
Clock Frequency:	
LM628N-6, LM629N-6, LM629M-6	1.0 MHz < f_{CLK} < 6.0 MHz
LM628N-8, LM629N-8, LM629M-8	1.0 MHz < f_{CLK} < 8.0 MHz
V_{DD} Range	4.5V < V_{DD} < 5.5V

DC Electrical Characteristics

(V_{DD} and T_A per Operating Ratings; f_{CLK} = 6 MHz)

Symbol	Parameter	Conditions	Tested Limits		Units
			Min	Max	
I_{DD}	Supply Current	Outputs Open		110	mA
INPUT VOLTAGES					
V_{IH}	Logic 1 Input Voltage		2.0		V
V_{IL}	Logic 0 Input Voltage			0.8	V
I_{IN}	Input Currents	$0 \le V_{IN} \le V_{DD}$	−10	10	µA
OUTPUT VOLTAGES					
V_{OH}	Logic 1	I_{OH} = −1.6 mA	2.4		V
V_{OL}	Logic 0	I_{OL} = 1.6 mA		0.4	V
I_{OUT}	TRI-STATE® Output Leakage Current	$0 \le V_{OUT} \le V_{DD}$	−10	10	µA

AC Electrical Characteristics

(V_{DD} and T_A per Operating Ratings; f_{CLK} = 6 MHz; C_{LOAD} = 50 pF; Input Test Signal $t_r = t_f$ = 10 ns)

Timing Interval	T#	Tested Limits		Units
		Min	Max	
ENCODER AND INDEX TIMING (See *Figure 2*)				
Motor-Phase Pulse Width	T1	$\frac{16}{f_{CLK}}$		µs
Dwell-Time per State	T2	$\frac{8}{f_{CLK}}$		µs
Index Pulse Setup and Hold (Relative to A and B Low)	T3	0		µs
CLOCK AND RESET TIMING (See *Figure 3*)				
Clock Pulse Width				
LM628N-6, LM629N-6, LM629M-6	T4	78		ns
LM628N-8, LM629N-8, LM629M-8	T4	57		ns
Clock Period				
LM628N-6, LM629N-6, LM629M-6	T5	166		ns
LM628N-8, LM629N-8, LM629M-8	T5	125		ns
Reset Pulse Width	T6	$\frac{8}{f_{CLK}}$		µs

AC Electrical Characteristics (Continued)

(V_{DD} and T_A per Operating Ratings; f_{CLK} = 6 MHz; C_{LOAD} = 50 pF; Input Test Signal t_r = t_f = 10 ns)

Timing Interval	T#	Tested Limits		Units
		Min	Max	
STATUS BYTE READ TIMING (See *Figure 4*)				
Chip-Select Setup/Hold Time	T7	0		ns
Port-Select Setup Time	T8	30		ns
Port-Select Hold Time	T9	30		ns
Read Data Access Time	T10		180	ns
Read Data Hold Time	T11	0		ns
$\overline{RD}$ High to Hi-Z Time	T12		180	ns
COMMAND BYTE WRITE TIMING (See *Figure 5*)				
Chip-Select Setup/Hold Time	T7	0		ns
Port-Select Setup Time	T8	30		ns
Port-Select Hold Time	T9	30		ns
Busy Bit Delay	T13		(Note 3)	ns
$\overline{WR}$ Pulse Width	T14	100		ns
Write Data Setup Time	T15	50		ns
Write Data Hold Time	T16	120		ns
DATA WORD READ TIMING (See *Figure 6*)				
Chip-Select Setup/Hold Time	T7	0		ns
Port-Select Setup Time	T8	30		ns
Port-Select Hold Time	T9	30		ns
Read Data Access Time	T10		180	ns
Read Data Hold Time	T11	0		ns
$\overline{RD}$ High to Hi-Z Time	T12		180	ns
Busy Bit Delay	T13		(Note 3)	ns
Read Recovery Time	T17	120		ns
DATA WORD WRITE TIMING (See *Figure 7*)				
Chip-Select Setup/Hold Time	T7	0		ns
Port-Select Setup Time	T8	30		ns
Port-Select Hold Time	T9	30		ns
Busy Bit Delay	T13		(Note 3)	ns
$\overline{WR}$ Pulse Width	T14	100		ns
Write Data Setup Time	T15	50		ns
Write Data Hold Time	T16	120		ns
Write Recovery Time	T18	120		ns

Note 1: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. DC and AC electrical specifications do not apply when operating the device beyond the above Operating Ratings.

Note 2: When operating at ambient temperatures above 70˚C, the device must be protected against excessive junction temperatures. Mounting the package on a printed circuit board having an area greater than three square inches and surrounding the leads and body with wide copper traces and large, uninterrupted areas of copper, such as a ground plane, suffices. The 28-pin DIP (N) and the 24-pin surface mount package (M) are molded plastic packages with solid copper lead frames. Most of the heat generated at the die flows from the die, through the copper lead frame, and into copper traces on the printed circuit board. The copper traces act as a heat sink. Double-sided or multi-layer boards provide heat transfer characteristics superior to those of single-sided boards.

Note 3: In order to read the busy bit, the status byte must first be read. The time required to read the busy bit far exceeds the time the chip requires to set the busy bit. It is, therefore, impossible to test actual busy bit delay. The busy bit is guaranteed to be valid as soon as the user is able to read it.

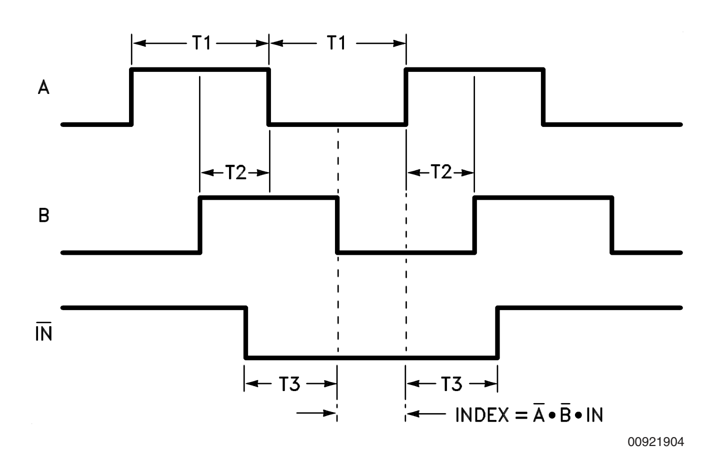


FIGURE 2. Quadrature Encoder Input Timing

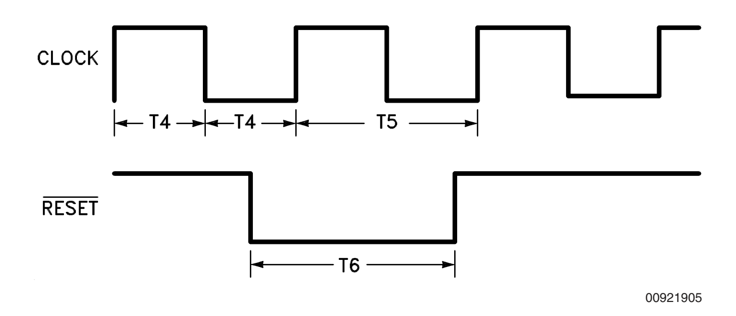


FIGURE 3. Clock and Reset Timing

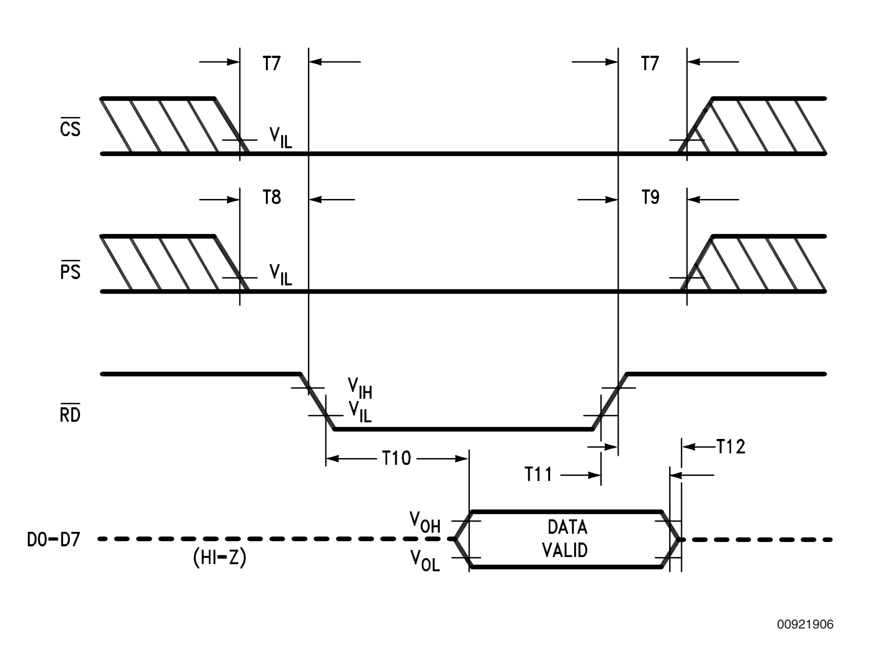


FIGURE 4. Status Byte Read Timing

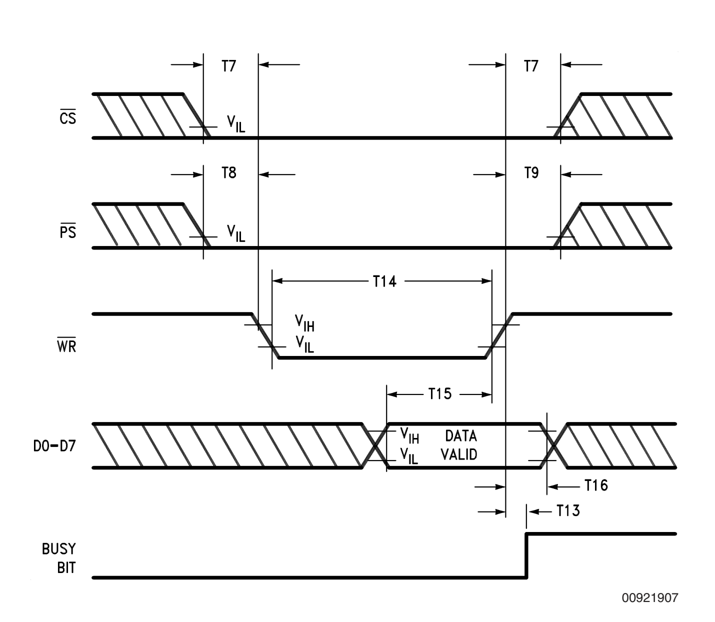


FIGURE 5. Command Byte Write Timing

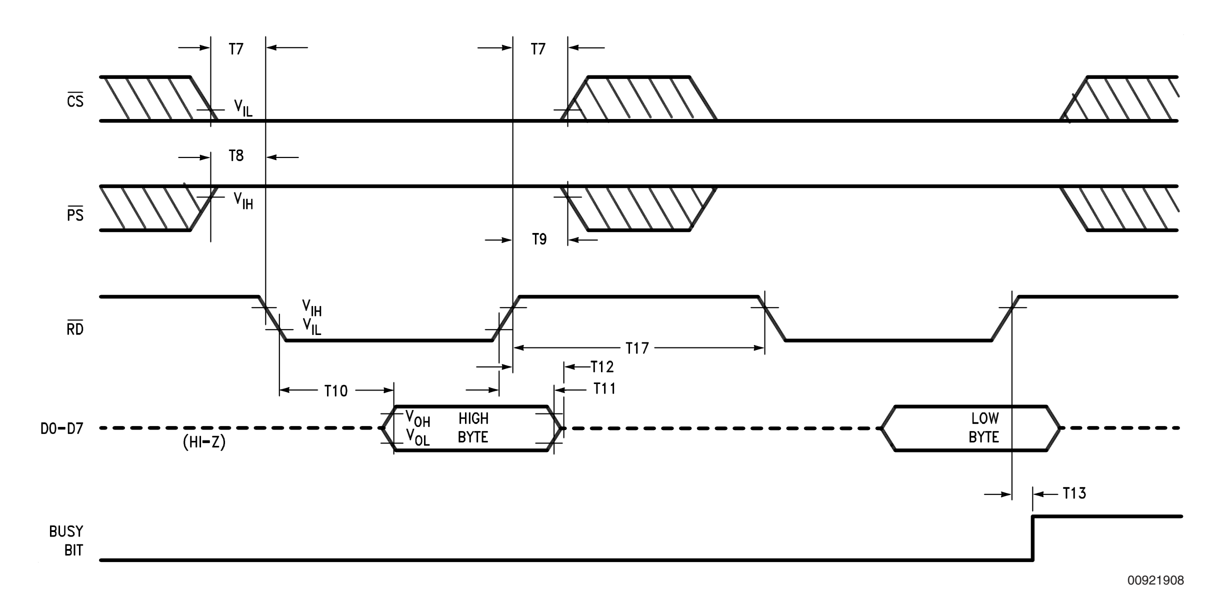


FIGURE 6. Data Word Read Timing

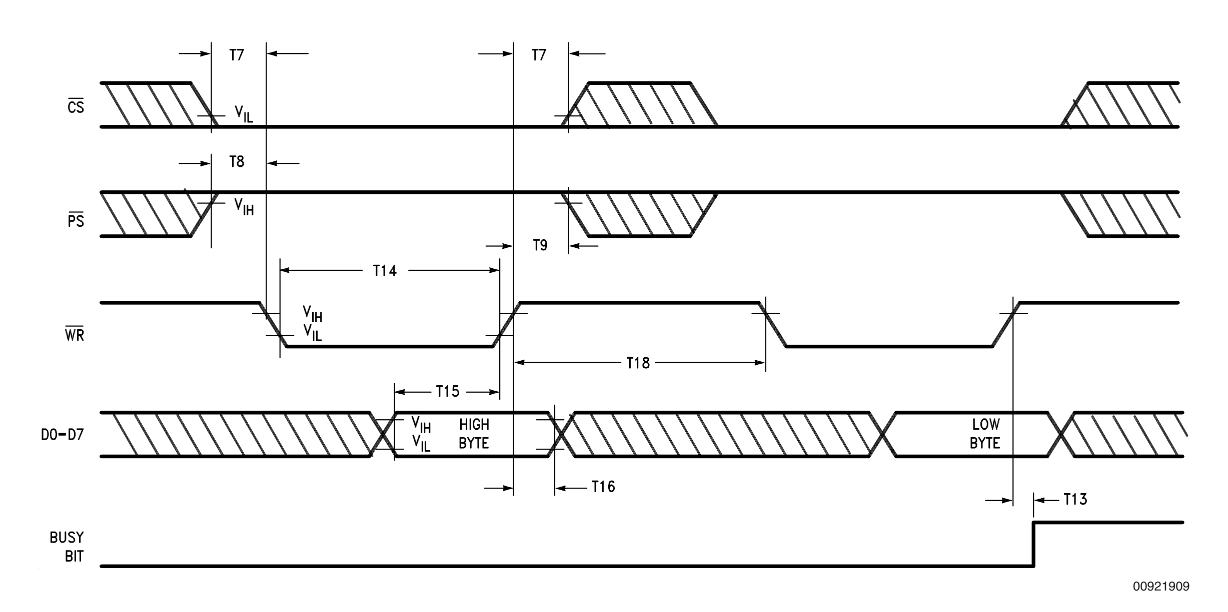


FIGURE 7. Data Word Write Timing

Pinout Description

(See Connection Diagrams) Pin numbers for the 24-pin surface mount package are indicated in parentheses.

Pin 1 (17), Index (IN) Input: Receives optional index pulse from the encoder. Must be tied high if not used. The index position is read when Pins 1, 2, and 3 are low.

Pins 2 and 3 (18 and 19), Encoder Signal (A, B) Inputs: Receive the two-phase quadrature signals provided by the incremental encoder. When the motor is rotating in the positive ("forward") direction, the signal at Pin 2 leads the signal at Pin 3 by 90 degrees. Note that the signals at Pins 2 and 3 must remain at each encoder state (See *Figure 9*) for a minimum of 8 clock periods in order to be recognized. Because of a four-to-one resolution advantage gained by the method of decoding the quadrature encoder signals, this corresponds to a maximum encoder-state capture rate of 1.0 MHz (f_{CLK} = 8.0 MHz) or 750 kHz (f_{CLK} = 6.0 MHz). For other clock frequencies the encoder signals must also remain at each state a minimum of 8 clock periods.

Pins 4 to 11 (20 to 24 and 2 to 4), Host I/O Port (D0 to D7): Bi-directional data port which connects to host computer/processor. Used for writing commands and data to the LM628, and for reading the status byte and data from the LM628, as controlled by CS (Pin 12), PS (Pin 16), RD (Pin 13), and WR (Pin 15).

Pin 12 (5), Chip Select (CS) Input: Used to select the LM628 for writing and reading operations.

Pin 13 (6), Read (RD) Input: Used to read status and data.

Pin 14 (7), Ground (GND): Power-supply return pin.

Pin 15 (8), Write (WR) Input: Used to write commands and data.

Pin 16 (9), Port Select (PS) Input: Used to select command or data port. Selects command port when low, data port when high. The following modes are controlled by Pin 16:

1. Commands are written to the command port (Pin 16 low),
2. Status byte is read from command port (Pin 16 low), and
3. Data is written and read via the data port (Pin 16 high).

Pin 17 (10), Host Interrupt (HI) Output: This active-high signal alerts the host (via a host interrupt service routine) that an interrupt condition has occurred.

Pins 18 to 25, DAC Port (DAC0 to DAC7): Output port which is used in three different modes:

1. LM628 (8-bit output mode): Outputs latched data to the DAC. The MSB is Pin 18 and the LSB is Pin 25.
2. LM628 (12-bit output mode): Outputs two, multiplexed 6-bit words. The less-significant word is output first. The MSB is on Pin 18 and the LSB is on Pin 23. Pin 24 is used to demultiplex the words; Pin 24 is low for the less-significant word. The positive-going edge of the signal on Pin 25 is used to strobe the output data. *Figure 8* shows the timing of the multiplexed signals.
3. LM629 (sign/magnitude outputs): Outputs a PWM sign signal on Pin 18 (11 for surface mount), and a PWM magnitude signal on Pin 19 (13 for surface mount). Pins 20 to 25 are not used in the LM629. *Figure 11* shows the PWM output signal format.

Pin 26 (14), Clock (CLK) Input: Receives system clock.

Pin 27 (15), Reset (RST) Input: Active-low, positive-edge triggered, resets the LM628 to the internal conditions shown below. Note that the reset pulse must be logic low for a minimum of 8 clock periods. Reset does the following:

1. Filter coefficient and trajectory parameters are zeroed.
2. Sets position error threshold to maximum value (7FFF hex), and effectively executes command LPEI.
3. The SBPA/SBPR interrupt is masked (disabled).
4. The five other interrupts are unmasked (enabled).
5. Initializes current position to zero, or "home" position.
6. Sets derivative sampling interval to 2048/f_{CLK} or 256 µs for an 8.0 MHz clock.
7. DAC port outputs 800 hex to "zero" a 12-bit DAC and then reverts to 80 hex to "zero" an 8-bit DAC.

Immediately after releasing the reset pin from the LM628, the status port should read "00". If the reset is successfully completed, the status word will change to hex "84" or "C4"

Pinout Description (Continued)

within 1.5 ms. If the status word has not changed from hex “00” to “84” or “C4” within 1.5 ms, perform another reset and repeat the above steps. To be certain that the reset was properly performed, execute a **RSTI** command. If the chip has reset properly, the status byte will change from hex “84” or “C4” to hex “80” or “C0”. If this does not occur, perform another reset and repeat the above steps.

Pin 28 (16), Supply Voltage (V_{DD}): Power supply voltage (+5V).

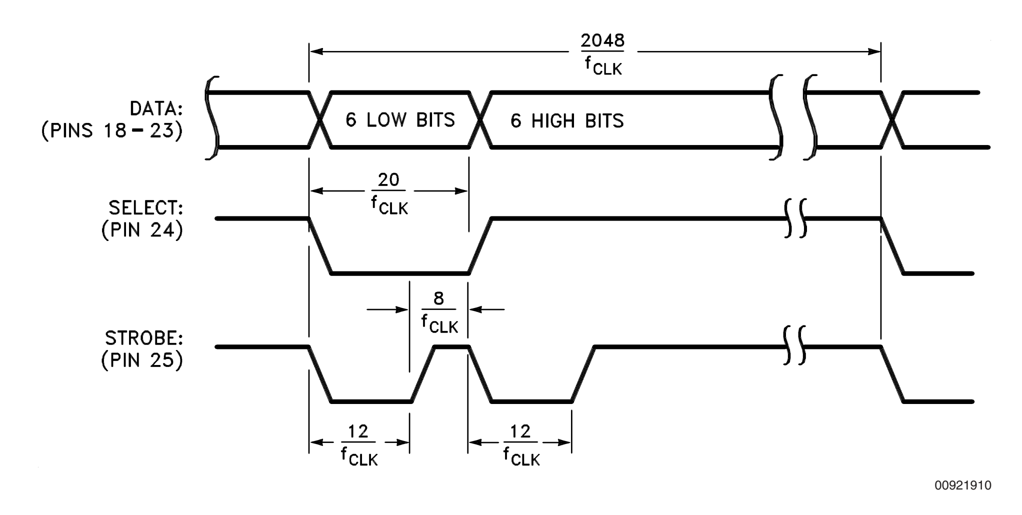


FIGURE 8. 12-Bit Multiplexed Output Timing

Theory of Operation

INTRODUCTION

The typical system block diagram (See *Figure 1*) illustrates a servo system built using the LM628. The host processor communicates with the LM628 through an I/O port to facilitate programming a trapezoidal velocity profile and a digital compensation filter. The DAC output interfaces to an external digital-to-analog converter to produce the signal that is power amplified and applied to the motor. An incremental encoder provides feedback for closing the position servo loop. The trapezoidal velocity profile generator calculates the required trajectory for either position or velocity mode of operation. In operation, the LM628 subtracts the actual position (feedback position) from the desired position (profile generator position), and the resulting position error is processed by the digital filter to drive the motor to the desired position. *Table 1* provides a brief summary of specifications offered by the LM628/LM629:

POSITION FEEDBACK INTERFACE

The LM628 interfaces to a motor via an incremental encoder. Three inputs are provided: two quadrature signal inputs, and an index pulse input. The quadrature signals are used to keep track of the absolute position of the motor. Each time a logic transition occurs at one of the quadrature inputs, the LM628 internal position register is incremented or decremented accordingly. This provides four times the resolution over the number of lines provided by the encoder. See *Figure 9*. Each of the encoder signal inputs is synchronized with the LM628 clock.

The optional index pulse output provided by some encoders assumes the logic-low state once per revolution. If the LM628 is so programmed by the user, it will record the absolute motor position in a dedicated register (the index register) at the time when all three encoder inputs are logic low.

If the encoder does not provide an index output, the LM628 index input can also be used to record the home position of the motor. In this case, typically, the motor will close a switch which is arranged to cause a logic-low level at the index input, and the LM628 will record motor position in the index register and alert (interrupt) the host processor. Permanently grounding the index input will cause the LM628 to malfunction.

TABLE 1. System Specifications Summary

Position Range	−1,073,741,824 to 1,073,741,823 counts
Velocity Range	0 to 1,073,741,823/2^{16} counts/sample; ie, 0 to 16,383 counts/sample, with a resolution of 1/2^{16} counts/sample
Acceleration Range	0 to 1,073,741,823/2^{16} counts/sample/sample; ie, 0 to 16,383 counts/sample/sample, with a resolution of 1/2^{16} counts/sample/sample
Motor Drive Output	LM628: 8-bit parallel output to DAC, or 12-bit multiplexed output to DAC LM629: 8-bit PWM sign/magnitude signals
Operating Modes	Position and Velocity
Feedback Device	Incremental Encoder (quadrature signals; support for index pulse)

Theory of Operation (Continued)

TABLE 1. System Specifications Summary (Continued)

Control Algorithm	Proportional Integral Derivative (PID) (plus programmable integration limit)
Sample Intervals	Derivative Term: Programmable from $2048/f_{CLK}$ to $(2048 * 256)/f_{CLK}$ in steps of $2048/f_{CLK}$ (256 to 65,536 µs for an 8.0 MHz clock). Proportional and Integral: $2048/f_{CLK}$

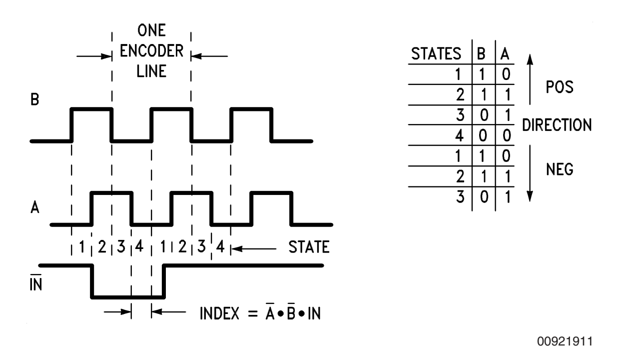
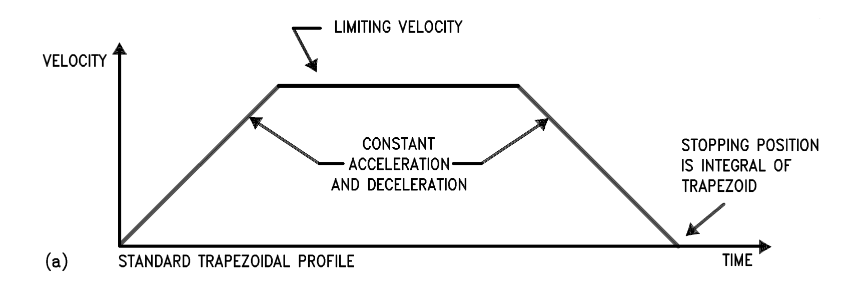


FIGURE 9. Quadrature Encoder Signals



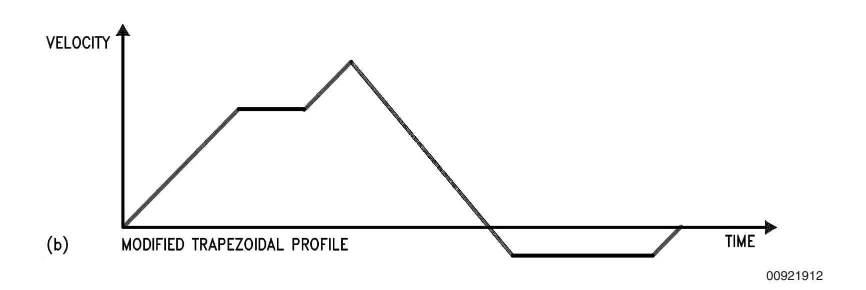


FIGURE 10. Typical Velocity Profiles

VELOCITY PROFILE (TRAJECTORY) GENERATION

The trapezoidal velocity profile generator computes the desired position of the motor versus time. In the position mode of operation, the host processor specifies acceleration, maximum velocity, and final position. The LM628 uses this information to affect the move by accelerating as specified until the maximum velocity is reached or until deceleration must begin to stop at the specified final position. The deceleration rate is equal to the acceleration rate. At any time during the move the maximum velocity and/or the target position may be changed, and the motor will accelerate or decelerate accordingly. *Figure 10* illustrates two typical trapezoidal velocity profiles. *Figure 10*(a) shows a simple trapezoid, while *Figure 10*(b) is an example of what the trajectory looks like when velocity and position are changed at different times during the move.

When operating in the velocity mode, the motor accelerates to the specified velocity at the specified acceleration rate and maintains the specified velocity until commanded to stop. The velocity is maintained by advancing the desired position at a constant rate. If there are disturbances to the motion during velocity mode operation, the long-time average velocity remains constant. If the motor is unable to maintain the specified velocity (which could be caused by a locked rotor,

Theory of Operation (Continued)

for example), the desired position will continue to be increased, resulting in a very large position error. If this condition goes undetected, and the impeding force on the motor is subsequently released, the motor could reach a very high velocity in order to catch up to the desired position (which is still advancing as specified). This condition is easily detected; see commands LPEI and LPES.

All trajectory parameters are 32-bit values. Position is a signed quantity. Acceleration and velocity are specified as 16-bit, positive-only integers having 16-bit fractions. The integer portion of velocity specifies how many counts per sampling interval the motor will traverse. The fractional portion designates an additional fractional count per sampling interval. Although the position resolution of the LM628 is limited to integer counts, the fractional counts provide increased average velocity resolution. Acceleration is treated in the same manner. Each sampling interval the commanded acceleration value is added to the current desired velocity to generate a new desired velocity (unless the command velocity has been reached).

One determines the trajectory parameters for a desired move as follows. If, for example, one has a 500-line shaft encoder, desires that the motor accelerate at one revolution per second per second until it is moving at 600 rpm, and then decelerate to a stop at a position exactly 100 revolutions from the start, one would calculate the trajectory parameters as follows:

let P = target position (units = encoder counts)
let R = encoder lines * 4 (system resolution)
then R = 500 * 4 = 2000
and P = 2000 * desired number of revolutions
P = 2000 * 100 revs = 200,000 counts (value to load)
P (coding) = 00030D40 (hex code written to LM628)
let V = velocity (units = counts/sample)
let T = sample time (seconds) = 341 μs (with 6 MHz clock)
let C = conversion factor = 1 minute/60 seconds
then V = R * T * C * desired rpm
and V = 2000 * 341E−6 * 1/60 * 600 rpm
V = 6.82 counts/sample
V (scaled) = 6.82 * 65,536 = 446,955.52
V (rounded) = 446,956 (value to load)
V (coding) = 0006D1EC (hex code written to LM628)
let A = acceleration (units = counts/sample/sample)
A = R * T * T * desired acceleration (rev/sec/sec)
then A = 2000 * 341E−6 * 341E-6 * 1 rev/sec/sec
and A = 2.33E−4 counts/sample/sample
A (scaled) = 2.33E−4 * 65,536 = 15.24
A (rounded) = 15 (value to load)
A (coding) = 0000000F (hex code written to LM628)

The above position, velocity, and acceleration values must be converted to binary codes to be loaded into the LM628. The values shown for velocity and acceleration must be multiplied by 65,536 (as shown) to adjust for the required integer/fraction format of the input data. Note that after scaling the velocity and acceleration values, literal fractional data cannot be loaded; the data must be rounded and converted to binary. The factor of four increase in system resolution is due to the method used to decode the quadrature encoder signals, see *Figure 9*.

PID COMPENSATION FILTER

The LM628 uses a digital Proportional Integral Derivative (PID) filter to compensate the control loop. The motor is held at the desired position by applying a restoring force to the motor that is proportional to the position error, plus the integral of the error, plus the derivative of the error. The following discrete-time equation illustrates the control performed by the LM628:

$$u(n) = kp^{*}e(n) + ki \sum_{N=0}^{n} e(n) + kd[e(n') - e(n'-1)]: \text{ (Eq. 1)} \tag{1}$$

where u(n) is the motor control signal output at sample time n, e(n) is the position error at sample time n, n' indicates sampling at the derivative sampling rate, and kp, ki, and kd are the discrete-time filter parameters loaded by the users.

The first term, the proportional term, provides a restoring force porportional to the position error, just as does a spring obeying Hooke's law. The second term, the integration term, provides a restoring force that grows with time, and thus ensures that the static position error is zero. If there is a constant torque loading, the motor will still be able to achieve zero position error.

The third term, the derivative term, provides a force proportional to the rate of change of position error. It acts just like viscous damping in a damped spring and mass system (like a shock absorber in an automobile). The sampling interval associated with the derivative term is user-selectable; this capability enables the LM628 to control a wider range of inertial loads (system mechanical time constants) by providing a better approximation of the continuous derivative. In general, longer sampling intervals are useful for low-velocity operations.

In operation, the filter algorithm receives a 16-bit error signal from the loop summing-junction. The error signal is saturated at 16 bits to ensure predictable behavior. In addition to being multiplied by filter coefficient kp, the error signal is added to an accumulation of previous errors (to form the integral signal) and, at a rate determined by the chosen *derivative* sampling interval, the previous error is subtracted from it (to form the derivative signal). All filter multiplications are 16-bit operations; only the bottom 16 bits of the product are used.

The integral signal is maintained to 24 bits, but only the top 16 bits are used. This scaling technique results in a more usable (less sensitive) range of coefficient ki values. The 16 bits are right-shifted eight positions and multiplied by filter coefficient ki to form the term which contributes to the motor control output. The absolute magnitude of this product is compared to coefficient il, and the lesser, appropriately signed magnitude then contributes to the motor control signal.

The derivative signal is multiplied by coefficient kd each *derivative* sampling interval. This product contributes to the motor control output *every* sample interval, independent of the user-chosen *derivative* sampling interval.

The kp, limited ki, and kd product terms are summed to form a 16-bit quantity. Depending on the output mode (wordsize), either the top 8 or top 12 bits become the motor control output signal.

Theory of Operation (Continued)

LM628 READING AND WRITING OPERATIONS

The host processor writes commands to the LM628 via the host I/O port when Port Select ($\overline{PS}$) input (Pin 16) is logic low. The desired command code is applied to the parallel port line and the Write ($\overline{WR}$) input (Pin 15) is strobed. The command byte is latched into the LM628 on the rising edge of the $\overline{WR}$ input. When writing command bytes it is necessary to first read the status byte and check the state of a flag called the "busy bit" (Bit 0). If the busy bit is logic high, no command write may take place. The busy bit is never high longer than 100 µs, and typically falls within 15 µs to 25 µs.

The host processor reads the LM628 status byte in a similar manner: by strobing the Read ($\overline{RD}$) input (Pin 13) when $\overline{PS}$ (Pin 16) is low; status information remains valid as long as $\overline{RD}$ is low.

Writing and reading data to/from the LM628 (as opposed to writing commands and reading status) are done with $\overline{PS}$ (Pin 16) logic high. These writes and reads are always an integral number (from one to seven) of two-byte words, with the first byte of each word being the more significant. Each byte requires a write ($\overline{WR}$) or read ($\overline{RD}$) strobe. When transferring data words (byte-pairs), it is necessary to first read the status byte and check the state of the busy bit. When the busy bit is logic low, the user may then sequentially transfer both bytes comprising a data word, but the busy bit must again be checked and found to be low before attempting to transfer the next byte pair (when transferring multiple words). Data transfers are accomplished via LM628-internal interrupts (which are not nested); the busy bit informs the host processor when the LM628 may not be interrupted for data transfer (or a command byte). If a command is written when the busy bit is high, the command will be ignored.

The busy bit goes high immediately after writing a command byte, or reading or writing a second byte of data (See *Figure 5* thru *Figure 7*).

MOTOR OUTPUTS

The LM628 DAC output port can be configured to provide either a latched eight-bit parallel output or a multiplexed 12-bit output. The 8-bit output can be directly connected to a flow-through (non-input-latching) D/A converter; the 12-bit output can be easily demultiplexed using an external 6-bit latch and an input-latching 12-bit D/A converter. The DAC output data is offset-binary coded; the 8-bit code for zero is 80 hex and the 12-bit code for zero is 800 hex. Values less than these cause a negative torque to be applied to the motor and, conversely, larger values cause positive motor torque. The LM628, when configured for 12-bit output, provides signals which control the demultiplexing process. See for details.

The LM629 provides 8-bit, sign and magnitude PWM output signals for directly driving switch-mode motor-drive amplifiers. *Figure 11* shows the format of the PWM magnitude output signal.

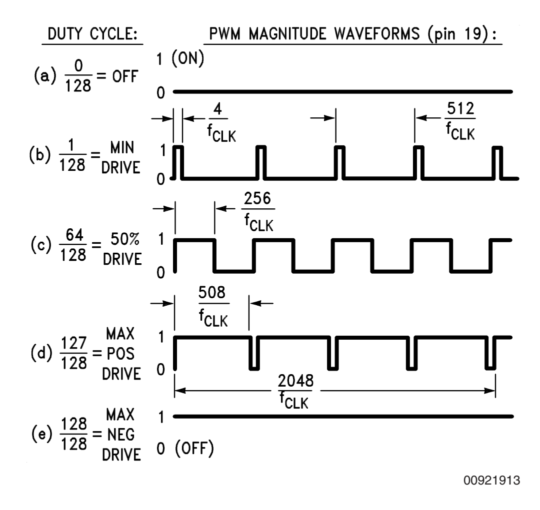


FIGURE 11. PWM Output Signal Format (Sign output (pin 18) not shown)

TABLE 2. LM628 User Command Set

Command	Type	Description	Hex	Data Bytes	Note
RESET	Initialize	Reset LM628	00	0	1
PORT8	Initialize	Select 8-Bit Output	05	0	2
PORT12	Initialize	Select 12-Bit Output	06	0	2
DFH	Initialize	Define Home	02	0	1
SIP	Interrupt	Set Index Position	03	0	1
LPEI	Interrupt	Interrupt on Error	1B	2	1
LPES	Interrupt	Stop on Error	1A	2	1
SBPA	Interrupt	Set Breakpoint, Absolute	20	4	1

Theory of Operation (Continued)

TABLE 2. LM628 User Command Set (Continued)

Command	Type	Description	Hex	Data Bytes	Note
SBPR	Interrupt	Set Breakpoint, Relative	21	4	1
MSKI	Interrupt	Mask Interrupts	1C	2	1
RSTI	Interrupt	Reset Interrupts	1D	2	1
LFIL	Filter	Load Filter Parameters	1E	2 to 10	1
UDF	Filter	Update Filter	04	0	1
LTRJ	Trajectory	Load Trajectory	1F	2 to 14	1
STT	Trajectory	Start Motion	01	0	3
RDSTAT	Report	Read Status Byte	None	1	1, 4
RDSIGS	Report	Read Signals Register	0C	2	1
RDIP	Report	Read Index Position	09	4	1
RDDP	Report	Read Desired Position	08	4	1
RDRP	Report	Read Real Position	0A	4	1
RDDV	Report	Read Desired Velocity	07	4	1
RDRV	Report	Read Real Velocity	0B	2	1
RDSUM	Report	Read Integration Sum	0D	2	1

Note 4: Commands may be executed "On the Fly" during motion.

Note 5: Commands not applicable to execution during motion.

Note 6: Command may be executed during motion if acceleration parameter was not changed.

Note 7: Command needs no code because the command port status-byte read is totally supported by hardware.

User Command Set

GENERAL

The following paragraphs describe the user command set of the LM628. Some of the commands can be issued alone and some require a supporting data structure. As examples, the command STT (STarT motion) does not require additional data; command LFIL (Load FILter parameters) requires additional data (derivative-term sampling interval and/or filter parameters).

Commands are categorized by function: initialization, interrupt control, filter control, trajectory control, and data reporting. The commands are listed in *Table 2* and described in the following paragraphs. Along with each command name is its command-byte code, the number of accompanying data bytes that are to be written (or read), and a comment as to whether the command is executable during motion.

Initialization Commands

The following four LM628 user commands are used primarily to initialize the system for use.

RESET COMMAND: RESET THE LM628

Command Code: 00 Hex
Data Bytes: None
Executable During Motion: Yes

This command (and the hardware reset input, Pin 27) results in setting the following data items to zero: filter coefficients and their input buffers, trajectory parameters and their input buffers, and the motor control output. A zero motor control output is a half-scale, offset-binary code: (80 hex for the 8-bit output mode; 800 hex for 12-bit mode). During reset, the DAC port outputs 800 hex to "zero" a 12-bit DAC and reverts to 80 hex to "zero" an 8-bit DAC. The command also clears five of the six interrupt masks (only the SBPA/SBPR interrupt is masked), sets the output port size to 8 bits, and defines the current absolute position as home. Reset, which may be executed at any time, will be completed in less than 1.5 ms. Also see commands PORT8 and PORT12.

PORT8 COMMAND: SET OUTPUT PORT SIZE TO 8 BITS

Command Code: 05 Hex
Data Bytes: None
Executable During Motion: Not Applicable

The default output port size of the LM628 is 8 bits; so the PORT8 command need not be executed when using an 8-bit DAC. This command must not be executed when using a 12-bit converter; it will result in erratic, unpredictable motor behavior. The 8-bit output port size is the required selection when using the LM629, the PWM-output version of the LM628.

PORT12 COMMAND: SET OUTPUT PORT SIZE TO 12 BITS

Command Code: 06 Hex
Data Bytes: None
Executable During Motion: Not Applicable

When a 12-bit DAC is used, command PORT12 should be issued very early in the initialization process. Because use of this command is determined by system hardware, there is only one foreseen reason to execute it later: if the RESET command is issued (because an 8-bit output would then be selected as the default) command PORT12 should be immediately executed. This command must not be issued when using an 8-bit converter or the LM629, the PWM-output version of the LM628.

Initialization Commands (Continued)

DFH COMMAND: DEFINE HOME

Command Code: 02 Hex
Data Bytes: None
Executable During Motion: Yes

This command declares the current position as "home", or absolute position 0 (Zero). If DFH is executed during motion it will not affect the stopping position of the on-going move unless command STT is also executed.

Interrupt Control Commands

The following seven LM628 user commands are associated with conditions which can be used to interrupt the host computer. In order for any of the potential interrupt conditions to actually interrupt the host via Pin 17, the corresponding bit in the interrupt mask data associated with command MSKI must have been set to logic high (the non-masked state).

The identity of all interrupts is made known to the host via reading and parsing the status byte. Even if all interrupts are masked off via command MSKI, the state of each condition is still reflected in the status byte. This feature facilitates polling the LM628 for status information, as opposed to interrupt driven operation.

SIP COMMAND: SET INDEX POSITION

Command Code: 03 Hex
Data Bytes: None
Executable During Motion: Yes

After this command is executed, the absolute position which corresponds to the occurrence of the next index pulse input will be recorded in the index register, and bit 3 of the status byte will be set to logic high. The position is recorded when both encoder-phase inputs and the index pulse input are logic low. This register can then be read by the user (see description for command RDIP) to facilitate aligning the definition of home position (see description of command DFH) with an index pulse. The user can also arrange to have the LM628 interrupt the host to signify that an index pulse has occurred. See the descriptions for commands MSKI and RSTI.

LPEI COMMAND: LOAD POSITION ERROR FOR INTERRUPT

Command Code: 1B Hex
Data Bytes: Two
Data Range: 0000 to 7FFF Hex
Executable During Motion: Yes

An excessive position error (the output of the loop summing junction) can indicate a serious system problem; e.g., a stalled rotor. Instruction LPEI allows the user to input a threshold for position error detection. Error detection occurs when the absolute magnitude of the position error exceeds the threshold, which results in bit 5 of the status byte being set to logic high. If it is desired to also stop (turn off) the motor upon detecting excessive position error, see command LPES, below. The first byte of threshold data written with command LPEI is the more significant. The user can have the LM628 interrupt the host to signify that an excessive position error has occurred. See the descriptions for commands MSKI and RSTI.

LPES COMMAND: LOAD POSITION ERROR FOR STOPPING

Command Code: 1A Hex
Data Bytes: Two
Data Range: 0000 to 7FFF Hex
Executable During Motion: Yes

Instruction LPES is essentially the same as command LPEI above, but adds the feature of turning off the motor upon detecting excessive position error. The motor drive is not actually switched off, it is set to half-scale, the offset-binary code for zero. As with command LPEI, bit 5 of the status byte is also set to logic high. The first byte of threshold data written with command LPES is the more significant. The user can have the LM628 interrupt the host to signify that an excessive position error has occurred. See the descriptions for commands MSKI and RSTI.

SBPA COMMAND:

Command Code: 20 Hex
Data Bytes: Four
Data Range: C0000000 to 3FFFFFFF Hex
Executable During Motion: Yes

This command enables the user to set a breakpoint in terms of absolute position. Bit 6 of the status byte is set to logic high when the breakpoint position is reached. This condition is useful for signaling trajectory and/or filter parameter updates. The user can also arrange to have the LM628 interrupt the host to signify that a breakpoint position has been reached. See the descriptions for commands MSKI and RSTI.

SBPR COMMAND:

Command Code: 21 Hex
Data Bytes: Four
Data Range: See Text
Executable During Motion: Yes

This command enables the user to set a breakpoint in terms of relative position. As with command SBPA, bit 6 of the status byte is set to logic high when the breakpoint position (relative to the current commanded target position) is reached. The relative breakpoint input value must be such that when this value is added to the target position the result remains within the absolute position range of the system (C0000000 to 3FFFFFFF hex). This condition is useful for signaling trajectory and/or filter parameter updates. The user can also arrange to have the LM628 interrupt the host to signify that a breakpoint position has been reached. See the descriptions for commands MSKI and RSTI.

MSKI COMMAND: MASK INTERRUPTS

Command Code: 1C Hex
Data Bytes: Two
Data Range: See Text
Executable During Motion: Yes

The MSKI command lets the user determine which potential interrupt condition(s) will interrupt the host. Bits 1 through 6 of the status byte are indicators of the six conditions which are candidates for host interrupt(s). When interrupted, the host then reads the status byte to learn which condition(s) occurred. Note that the MSKI command is immediately followed by two data bytes. Bits 1 through 6 of the second (less significant) byte written determine the masked/unmasked status of each potential interrupt. Any zero(s) in this 6-bit

Interrupt Control Commands
(Continued)

field will mask the corresponding interrupt(s); any one(s) enable the interrupt(s). Other bits comprising the two bytes have no effect. The mask controls only the host interrupt process; reading the status byte will still reflect the actual conditions independent of the mask byte. See *Table 3*.

TABLE 3. Mask and Reset Bit Allocations for Interrupts

Bit Position	Function
Bits 15 thru 7	Not Used
Bit 6	Breakpoint Interrupt
Bit 5	Position-Error Interrupt
Bit 4	Wrap-Around Interrupt
Bit 3	Index-Pulse Interrupt
Bit 2	Trajectory-Complete Interrupt
Bit 1	Command-Error Interrupt
Bit 0	Not Used

RSTI COMMAND: RESET INTERRUPTS

Command Code:	1D Hex
Data Bytes:	Two
Data Range:	See Text
Executable During Motion:	Yes

When one of the potential interrupt conditions of *Table 3* occurs, command RSTI is used to reset the corresponding interrupt flag bit in the status byte. The host may reset one or all flag bits. Resetting them one at a time allows the host to service them one at a time according to a priority programmed by the user. As in the MSKI command, bits 1 through 6 of the second (less significant) byte correspond to the potential interrupt conditions shown in *Table 3*. Also see description of RDSTAT command. Any zero(s) in this 6-bit field reset the corresponding interrupt(s). The remaining bits have no effect.

Filter Control Commands

The following two LM628 user commands are used for setting the derivative-term sampling interval, for adjusting the filter parameters as required to tune the system, and to control the timing of these system changes.

LFIL COMMAND: LOAD FILTER PARAMETERS

Command Code:	1E Hex
Data Bytes:	Two to Ten
Data Ranges…	
Filter Control Word:	See Text
Filter Coefficients:	0000 to 7FFF Hex (Pos Only)
Integration Limit:	0000 to 7FFF Hex (Pos Only)
Executable During Motion:	Yes

The filter parameters (coefficients) which are written to the LM628 to control loop compensation are: kp, ki, kd, and il (integration limit). The integration limit (il) constrains the contribution of the integration term

$$\left[ki * \sum_{N=0}^{n} e(n) \right]$$

(see Eq. 1) to values equal to or less than a user-defined maximum value; this capability minimizes integral or reset "wind-up" (an overshooting effect of the integral action). The positive-only input value is compared to the absolute magnitude of the integration term; when the magnitude of integration term value exceeds il, the il value (with appropriate sign) is substituted for the integration term value.

The derivative-term sampling interval is also programmable via this command. After writing the command code, the first two data bytes that are written specify the derivative-term sampling interval and which of the four filter parameters is/are to be written via any forthcoming data bytes. The first byte written is the more significant. Thus the two data bytes constitute a filter control word that informs the LM628 as to the nature and number of any following data bytes. See *Table 4*.

TABLE 4. Filter Control word Bit Allocation

Bit Position	Function
Bit 15	Derivative Sampling Interval Bit 7
Bit 14	Derivative Sampling Interval Bit 6
Bit 13	Derivative Sampling Interval Bit 5
Bit 12	Derivative Sampling Interval Bit 4
Bit 11	Derivative Sampling Interval Bit 3
Bit 10	Derivative Sampling Interval Bit 2
Bit 9	Derivative Sampling Interval Bit 1
Bit 8	Derivative Sampling Interval Bit 0
Bit 7	Not Used
Bit 6	Not Used
Bit 5	Not Used
Bit 4	Not Used
Bit 3	Loading kp Data
Bit 2	Loading ki Data
Bit 1	Loading kd Data
Bit 0	Loading il Data

Bits 8 through 15 select the derivative-term sampling interval. See *Table 5*. The user must locally save and restore these bits during successive writes of the filter control word.

Bits 4 through 7 of the filter control word are not used.

Bits 0 to 3 inform the LM628 as to whether any or all of the filter parameters are about to be written. The user may choose to update any or all (or none) of the filter parameters. Those chosen for updating are so indicated by logic one(s) in the corresponding bit position(s) of the filter control word.

The data bytes specified by and immediately following the filter control word are written in pairs to comprise 16-bit words. The order of sending the data words to the LM628 corresponds to the descending order shown in the above description of the filter control word; i.e., beginning with kp, then ki, kd and il. The first byte of each word is the more-significant byte. Prior to writing a word (byte pair) it is necessary to check the busy bit in the status byte for readiness. The required data is written to the primary buffers of a double-buffered scheme by the above described operations;

Filter Control Commands (Continued)

it is not transferred to the secondary (working) registers until the UDF command is executed. This fact can be used advantageously; the user can input numerous data ahead of their actual use. This simple pipeline effect can relieve potential host computer data communications bottlenecks, and facilitates easier synchronization of multiple-axis controls.

UDF COMMAND: UPDATE FILTER

Command Code: 04 Hex
Data Bytes: None
Executable During Motion: Yes

The UDF command is used to update the filter parameters, the specifics of which have been programmed via the LFIL command. Any or all parameters (derivative-term sampling interval, kp, ki, kd, and/or il) may be changed by the appropriate command(s), but command UDF must be executed to affect the change in filter tuning. Filter updating is synchronized with the calculations to eliminate erratic or spurious behavior.

Trajectory Control Commands

The following two LM628 user commands are used for setting the trajectory control parameters (position, velocity, acceleration), mode of operation (position or velocity), and direction (velocity mode only) as required to describe a desired motion or to select the mode of a manually directed stop, and to control the timing of these system changes.

LTRJ COMMAND: LOAD TRAJECTORY PARAMETERS

Command Code: 1F Hex
Data Bytes: Two to Fourteen
Data Ranges…
Trajectory Control Word: See Text
Position: C0000000 to 3FFFFFFF Hex
Velocity: 00000000 to 3FFFFFFF Hex (Pos Only)
Acceleration: 00000000 to 3FFFFFFF Hex (Pos Only)
Executable During Motion: Conditionally, See Text

TABLE 5. Derivative-Term Sampling Interval Selection Codes

	Bit Position								Selected Derivative Sampling Interval
	15	14	13	12	11	10	9	8	
	0	0	0	0	0	0	0	0	256 µs
	0	0	0	0	0	0	0	1	512 µs
	0	0	0	0	0	0	1	0	768 µs
	0	0	0	0	0	0	1	1	1024 µs, etc…
thru	1	1	1	1	1	1	1	1	65,536 µs

Note 8: Sampling intervals shown are when using an 8.0 MHz clock. The 256 corresponds to 2048/8 MHz; sample intervals must be scaled for other clock frequencies.

The trajectory control parameters which are written to the LM628 to control motion are: acceleration, velocity, and position. In addition, indications as to whether these three parameters are to be considered as absolute or relative inputs, selection of velocity mode and direction, and manual stopping mode selection and execution are programmable via this command. After writing the command code, the first two data bytes that are written specify which parameter(s) is/are being changed. The first byte written is the more significant. Thus the two data bytes constitute a trajectory control word that informs the LM628 as to the nature and number of any following data bytes. See *Table 6*.

TABLE 6. Trajectory Control Word Bit Allocation

Bit Position	Function
Bit 15	Not Used
Bit 14	Not Used
Bit 13	Not Used
Bit 12	Forward Direction (Velocity Mode Only)
Bit 11	Velocity Mode
Bit 10	Stop Smoothly (Decelerate as Programmed)
Bit 9	Stop Abruptly (Maximum Deceleration)
Bit 8	Turn Off Motor (Output Zero Drive)
Bit 7	Not Used
Bit 6	Not Used
Bit 5	Acceleration Will Be Loaded
Bit 4	Acceleration Data Is Relative
Bit 3	Velocity Will Be Loaded
Bit 2	Velocity Data Is Relative
Bit 1	Position Will Be Loaded
Bit 0	Position Data Is Relative

Bit 12 determines the motor direction when in the velocity mode. A logic one indicates forward direction. This bit has no effect when in position mode.

Bit 11 determines whether the LM628 operates in velocity mode (Bit 11 logic one) or position mode (Bit 11 logic zero).

Bits 8 through 10 are used to select the method of *manually stopping* the motor. These bits are *not* provided for one to merely specify the desired *mode* of stopping, in position mode operations, normal stopping is always smooth and

Trajectory Control Commands
(Continued)

occurs automatically at the end of the specified trajectory. Under exceptional circumstances it may be desired to manually intervene with the trajectory generation process to affect a premature stop. In velocity mode operations, however, the normal means of stopping *is* via bits 8 through 10 (usually bit 10). Bit 8 is set to logic one to stop the motor by turning off motor drive output (outputting the appropriate offset-binary code to apply zero drive to the motor); bit 9 is set to one to stop the motor abruptly (at maximum available acceleration, by setting the target position equal to the current position); and bit 10 is set to one to stop the motor smoothly by using the current user-programmed acceleration value. Bits 8 through 10 are to be used *exclusively;* only one bit should be a logic one at any time.

Bits 0 through 5 inform the LM628 as to whether any or all of the trajectory controlling parameters are about to be written, and whether the data should be interpreted as absolute or relative. The user may choose to update any or all (or none) of the trajectory parameters. Those chosen for updating are so indicated by logic one(s) in the corresponding bit position(s). Any parameter may be changed while the motor is in motion; however, if acceleration is changed then the next STT command must not be issued until the LM628 has completed the current move or has been manually stopped.

The data bytes specified by and immediately following the trajectory control word are written in pairs which comprise 16-bit words. Each data item (parameter) requires two 16-bit words; the word and byte order is most-to-least significant. The order of sending the parameters to the LM628 corresponds to the descending order shown in the above description of the trajectory control word; i.e., beginning with acceleration, then velocity, and finally position.

Acceleration and velocity are 32 bits, positive only, but range only from 0 (00000000 hex) to $[2^{30}]-1$ (3FFFFFFF hex). The bottom 16 bits of both acceleration and velocity are scaled as fractional data; therefore, the least-significant integer data bit for these parameters is bit 16 (where the bits are numbered 0 through 31). To determine the coding for a given velocity, for example, one multiplies the desired velocity (in counts per sample interval) times 65,536 and converts the result to binary. The units of acceleration are counts per sample per sample. The value loaded for acceleration must not exceed the value loaded for velocity. Position is a signed, 32-bit integer, but ranges only from $-[2^{30}]$ (C0000000 hex) to $[2^{30}]-1$ (3FFFFFFF Hex).

The required data is written to the primary buffers of a double-buffered scheme by the above described operations; it is not transferred to the secondary (working) registers until the STT command is executed. This fact can be used advantageously; the user can input numerous data ahead of their actual use. This simple pipeline effect can relieve potential host computer data communications bottlenecks, and facilitates easier synchronization of multiple-axis controls.

STT COMMAND: START MOTION CONTROL

Command Code:	01 Hex
Data Bytes:	None
Executable During Motion:	Yes, if acceleration has not been changed

The STT command is used to execute the desired trajectory, the specifics of which have been programmed via the LTRJ command. Synchronization of multi-axis control (to within one sample interval) can be arranged by loading the required trajectory parameters for each (and every) axis and then simultaneously issuing a single STT command to all axes. This command may be executed at any time, unless the acceleration value has been changed and a trajectory has not been completed or the motor has not been manually stopped. If STT is issued during motion and acceleration has been changed, a command error interrupt will be generated and the command will be ignored.

Data Reporting Commands

The following seven LM628 user commands are used to obtain data from various registers in the LM628. Status, position, and velocity information are reported. With the exception of RDSTAT, the data is read from the LM628 data port after first writing the corresponding command to the command port.

RDSTAT COMMAND: READ STATUS BYTE

Command Code:	None
Byte Read:	One
Data Range:	See Text
Executable During Motion:	Yes

The RDSTAT command is really not a command, but is listed with the other commands because it is used very frequently to control communications with the host computer. There is no identification code; it is directly supported by the hardware and may be executed at any time. The single-byte status read is selected by placing $\overline{CS}$, $\overline{PS}$ and $\overline{RD}$ at logic zero. See *Table 7*.

TABLE 7. Status Byte Bit Allocation

Bit Position	Function
Bit 7	Motor Off
Bit 6	Breakpoint Reached [Interrupt]
Bit 5	Excessive Position Error [Interrupt]
Bit 4	Wraparound Occurred [Interrupt]
Bit 3	Index Pulse Observed [Interrupt]
Bit 2	Trajectory Complete [Interrupt]
Bit 1	Command Error [Interrupt]
Bit 0	Busy Bit

Bit 7, the motor-off flag, is set to logic one when the motor drive output is off (at the half-scale, offset-binary code for zero). The motor is turned off by any of the following conditions: power-up reset, command RESET, excessive position error (if command LPES had been executed), or when command LTRJ is used to manually stop the motor via turning the motor off. Note that when bit 7 is set in conjunction with command LTRJ for producing a manual, motor-off stop, the actual setting of bit 7 does not occur until command STT is issued to affect the stop. Bit 7 is cleared by command STT, except as described in the previous sentence.

Bit 6, the breakpoint-reached interrupt flag, is set to logic one when the position breakpoint loaded via command SBPA or SBPR has been exceeded. The flag is functional independent of the host interrupt mask status. Bit 6 is cleared via command RSTI.

Bit 5, the excessive-position-error interrupt flag, is set to logic one when a position-error interrupt condition exists. This occurs when the error threshold loaded via command

Data Reporting Commands
(Continued)

LPEI or LPES has been exceeded. The flag is functional independent of the host interrupt mask status. Bit 5 is cleared via command RSTI.

Bit 4, the wraparound interrupt flag, is set to logic one when a numerical "wraparound" has occurred. To "wraparound" means to exceed the position address space of the LM628, which could occur during velocity mode operation. If a wrap-around has occurred, then position information will be in error and this interrupt helps the user to ensure position data integrity. The flag is functional independent of the host interrupt mask status. Bit 4 is cleared via command RSTI.

Bit 3, the index-pulse acquired interrupt flag, is set to logic one when an index pulse has occurred (if command SIP had been executed) and indicates that the index position register has been updated. The flag is functional independent of the host interrupt mask status. Bit 3 is cleared by command RSTI.

Bit 2, the trajectory complete interrupt flag, is set to logic one when the trajectory programmed by the LTRJ command and initiated by the STT command has been completed. Because of overshoot or a limiting condition (such as commanding the velocity to be higher than the motor can achieve), the motor may not yet be at the final commanded position. This bit is the logical OR of bits 7 and 10 of the Signals Register, see command RDSIGS below. The flag functions independently of the host interrupt mask status. Bit 2 is cleared via command RSTI.

Bit 1, the command-error interrupt flag, is set to logic one when the user attempts to read data when a write was appropriate (or vice versa). The flag is functional independent of the host interrupt mask status. Bit 1 is cleared via command RSTI.

Bit 0, the busy flag, is frequently tested by the user (via the host computer program) to determine the busy/ready status prior to writing and reading any data. Such writes and reads may be executed only when bit 0 is logic zero (not busy). Any command or data writes when the busy bit is high will be ignored. Any data reads when the busy bit is high will read the current contents of the I/O port buffers, not the data expected by the host. Such reads or writes (with the busy bit high) will not generate a command-error interrupt.

RDSIGS COMMAND: READ SIGNALS REGISTER

Command Code:	0C Hex
Bytes Read:	Two
Data Range:	See Text
Executable During Motion:	Yes

The LM628 internal "signals" register may be read using this command. The first byte read is the more significant. The less significant byte of this register (with the exception of bit 0) duplicates the status byte. See *Table 8*.

TABLE 8. Signals Register Bit Allocation

Bit Position	Function
Bit 15	Host Interrupt
Bit 14	Acceleration Loaded (But Not Updated)
Bit 13	UDF Executed (But Filter Not yet Updated)
Bit 12	Forward Direction
Bit 11	Velocity Mode
Bit 10	On Target
Bit 9	Turn Off upon Excessive Position Error
Bit 8	Eight-Bit Output Mode
Bit 7	Motor Off
Bit 6	Breakpoint Reached [Interrupt]
Bit 5	Excessive Position Error [Interrupt]
Bit 4	Wraparound Occurred [Interrupt]
Bit 3	Index Pulse Acquired [Interrupt]
Bit 2	Trajectory Complete [Interrupt]
Bit 1	Command Error [Interrupt]
Bit 0	Acquire Next Index (SIP Executed)

Bit 15, the host interrupt flag, is set to logic one when the host interrupt output (Pin 17) is logic one. Pin 17 is set to logic one when any of the six host interrupt conditions occur (if the corresponding interrupt has not been masked). Bit 15 (and Pin 17) are cleared via command RSTI.

Bit 14, the acceleration-loaded flag, is set to logic one when acceleration data is written to the LM628. Bit 14 is cleared by the STT command.

Bit 13, the UDF-executed flag, is set to logic one when the UDF command is executed. Because bit 13 is cleared at the end of the sampling interval in which it has been set, this signal is very short-lived and probably not very profitable for monitoring.

Bit 12, the forward direction flag, is meaningful only when the LM628 is in velocity mode. The bit is set to logic one to indicate that the desired direction of motion is "forward"; zero indicates "reverse" direction. Bit 12 is set and cleared via command LTRJ. The actual setting and clearing of bit 12 does not occur until command STT is executed.

Bit 11, the velocity mode flag, is set to logic one to indicate that the user has selected (via command LTRJ) velocity mode. Bit 11 is cleared when position mode is selected (via command LTRJ). The actual setting and clearing of bit 11 does not occur until command STT is executed.

Bit 10, the on-target flag, is set to logic one when the trajectory generator has completed its functions for the last-issued STT command. Bit 10 is cleared by the next STT command.

Bit 9, the turn-off on-error flag, is set to logic one when command LPES is executed. Bit 9 is cleared by command LPEI.

Bit 8, the 8-bit output flag, is set to logic one when the LM628 is reset, or when command PORT8 is executed. Bit 8 is cleared by command PORT12.

Bits 0 through 7 replicate the status byte (see), with the exception of bit 0. Bit 0, the acquire next index flag, is set to logic one when command SIP is executed; it then remains set until the next index pulse occurs.

RDIP COMMAND: READ INDEX POSITION

Command Code:	09 Hex
Bytes Read:	Four
Data Range:	C0000000 to 3FFFFFFF Hex
Executable During Motion:	Yes

This command reads the position recorded in the index register. Reading the index register can be part of a system error checking scheme. Whenever the SIP command is executed, the new index position minus the old index position,

Data Reporting Commands

(Continued)

divided by the incremental encoder resolution (encoder lines times four), should always be an integral number. The RDIP command facilitates acquiring these data for host-based calculations. The command can also be used to identify/ verify home or some other special position. The bytes are read in most-to-least significant order.

RDDP COMMAND: READ DESIRED POSITION

Command Code: 08 Hex
Bytes Read: Four
Data Range: C0000000 to 3FFFFFFF Hex
Executable During Motion: Yes

This command reads the instantaneous desired (current *temporal*) position output of the profile generator. This is the “setpoint” input to the position-loop summing junction. The bytes are read in most-to-least significant order.

RDRP COMMAND: READ REAL POSITION

Command Code: 0A Hex
Bytes Read: Four
Data Range: C0000000 to 3FFFFFFF Hex
Executable During Motion: Yes

This command reads the current actual position of the motor. This is the feedback input to the loop summing junction. The bytes are read in most-to-least significant order.

RDDV COMMAND: READ DESIRED VELOCITY

Command Code: 07 Hex
Bytes Read: Four
Data Range: C0000001 to 3FFFFFFF
Executable During Motion: Yes

This command reads the integer and fractional portions of the instantaneous desired (current *temporal*) velocity, as used to generate the desired position profile. The bytes are read in most-to-least significant order. The value read is properly scaled for numerical comparison with the user-supplied (commanded) velocity; however, because the two least-significant bytes represent *fractional* velocity, only the two most-significant bytes are appropriate for comparison with the data obtained via command RDRV (see below). Also note that, although the velocity *input* data is constrained to positive numbers (see command LTRJ), the data returned by command RDDV represents a *signed* quantity where negative numbers represent operation in the reverse direction.

RDRV COMMAND: READ REAL VELOCITY

Command Code: 0B Hex
Bytes Read: Two
Data Range: C000 to 3FFF Hex, See Text
Executable During Motion: Yes

This command reads the *integer* portion of the instantaneous actual velocity of the motor. The internally maintained fractional portion of velocity is not reported because the reported data is derived by reading the incremental encoder, which produces only integer data. For comparison with the result obtained by executing command RDDV (or the user-supplied input value), the value returned by command RDRV must be multiplied by 2^{16} (shifted left 16 bit positions). Also, as with command RDDV above, data returned by command RDRV is a *signed* quantity, with negative values representing reverse-direction motion.

RDSUM COMMAND: READ INTEGRATION-TERM SUMMATION VALUE

Command Code: 0D Hex
Bytes Read: Two
Data Range: 00000 Hex to ± the Current Value of the Integration Limit
Executable During Motion: Yes

This command reads the value to which the integration term has accumulated. The ability to read this value may be helpful in initially or adaptively tuning the system.

Typical Applications

PROGRAMMING LM628 HOST HANDSHAKING (INTERRUPTS)

A few words regarding the LM628 host handshaking will be helpful to the system programmer. As indicated in various portions of the above text, the LM628 handshakes with the host computer in two ways: via the host interrupt output (Pin 17), or via polling the status byte for “interrupt” conditions. When the hardwired interrupt is used, the status byte is also read and parsed to determine which of six possible conditions caused the interrupt.

When using the hardwired interrupt it is very important that the host interrupt service routine does not interfere with a command sequence which might have been in progress when the interrupt occurred. If the host interrupt service routine were to issue a command to the LM628 while it is in the middle of an ongoing command sequence, the ongoing command will be aborted (which could be detrimental to the application).

Two approaches exist for avoiding this problem. If one is using hardwired interrupts, they should be disabled at the host prior to issuing any LM628 command sequence, and re-enabled after each command sequence. The second approach is to avoid hardwired interrupts and poll the LM628 status byte for “interrupt” status. The status byte always reflects the interrupt-condition status, independent of whether or not the interrupts have been masked.

TYPICAL HOST COMPUTER/PROCESSOR INTERFACE

The LM628 is interfaced with the host computer/processor via an 8-bit parallel bus. *Figure 12* shows such an interface and a minimum system configuration.

As shown in *Figure 12*, the LM628 interfaces with the host data, address and control lines. The address lines are decoded to generate the LM628 $\overline{CS}$ input; the host address LSB directly drives the LM628 $\overline{PS}$ input. *Figure 12* also shows an 8-bit DAC and an LM12 Power Op Amp interfaced to the LM628.

LM628 AND HIGH PERFORMANCE CONTROLLER (HPC)INTERFACE

Figure 13 shows the LM628 interfaced to a National HPC High Performance Controller. The delay and logic associated with the $\overline{WR}$ line is used to effectively increase the write-data hold time of the HPC (as seen at the LM628) by causing the $\overline{WR}$ pulse to rise early. Note that the HPC CK2 output

Typical Applications (Continued)

provides the clock for the LM628. The 74LS245 is used to decrease the read-data hold time, which is necessary when interfacing to fast host busses.

INTERFACING A 12-BIT DAC

Figure 14 illustrates use of a 12-bit DAC with the LM628. The 74LS378 hex gated-D flip-flop and an inverter demultiplex the 12-bit output. DAC offset must be adjusted to minimize DAC linearity and monotonicity errors. Two methods exist for making this adjustment. If the DAC1210 has been socketed, remove it and temporarily connect a 15 kΩ resistor between Pins 11 and 13 of the DAC socket (Pins 2 and 6 of the LF356) and adjust the 25 kΩ potentiometer for 0V at Pin 6 of the LF356.

If the DAC is not removable, the second method of adjustment requires that the DAC1210 inputs be presented an all-zeros code. This can be arranged by commanding the appropriate move via the LM628, but with no feedback from the system encoder. When the all-zeros code is present, adjust the pot for 0V at Pin 6 of the LF356.

A MONOLITHIC LINEAR DRIVE USING LM12 POWER OP AMP

Figure 15 shows a motor-drive amplifier built using the LM12 Power Operational Amplifier. This circuit is very simple and can deliver up to 8A at 30V (using the LM12L/LM12CL). Resistors R1 and R2 should be chosen to set the gain to provide maximum output voltage consistent with maximum input voltage. This example provides a gain of 2.2, which allows for amplifier output saturation at ±22V with a ±10V input, assuming power supply voltages of ±30V. The amplifier gain should not be higher than necessary because the system is non-linear when saturated, and because gain should be controlled by the LM628. The LM12 can also be configured as a current driver, see 1987 Linear Databook, Vol. 1, p. 2–280.

TYPICAL PWM MOTOR DRIVE INTERFACES

Figure 16 shows an LM18298 dual full-bridge driver interfaced to the LM629 PWM outputs to provide a switch-mode power amplifier for driving small brush/commutator motors.

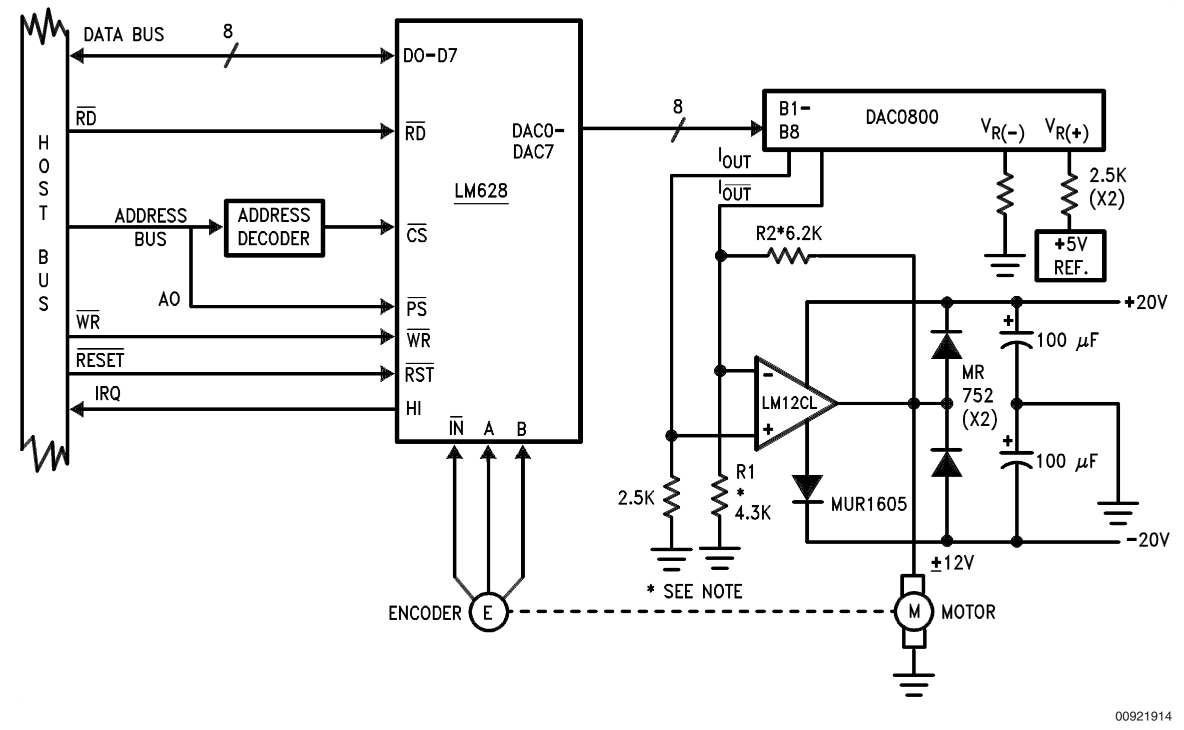
Incremental Encoder Interface

The incremental (position feedback) encoder interface consists of three lines: Phase A (Pin 2), Phase B (Pin 3), and Index (Pin 1). The index pulse output is not available on some encoders. The LM628 will work with both encoder types, but commands SIP and RDIP will not be meaningful without an index pulse (or alternative input for this input … be sure to tie Pin 1 high if not used).

Some consideration is merited relative to use in high Gaussian-noise environments. If noise is added to the encoder inputs (either or both inputs) and is such that it is not sustained until the next encoder transition, the LM628 decoder logic will reject it. Noise that mimics quadrature counts or persists through encoder transitions must be eliminated by appropriate EMI design.

Simple digital “filtering” schemes merely reduce susceptibility to noise (there will always be noise pulses longer than the filter can eliminate). Further, any noise filtering scheme reduces decoder bandwidth. In the LM628 it was decided (since simple filtering does not eliminate the noise problem) to not include a noise filter in favor of offering maximum possible decoder bandwidth. Attempting to drive encoder signals too long a distance with simple TTL lines can also be a source of “noise” in the form of signal degradation (poor risetime and/or ringing). This can also cause a system to lose positional integrity. Probably the most effective countermeasure to noise induction can be had by using balanced-line drivers and receivers on the encoder inputs. *Figure 17* shows circuitry using the DS26LS31 and DS26LS32.

Typical Applications (Continued)



Note:

$$A_V = \frac{R1 + R2}{R1} \approx 2.4$$

$$\frac{R1 \times R2}{R1 + R2} \triangleq 2.5k$$

FIGURE 12. Host Interface and Minimum System Configuration

Typical Applications (Continued)

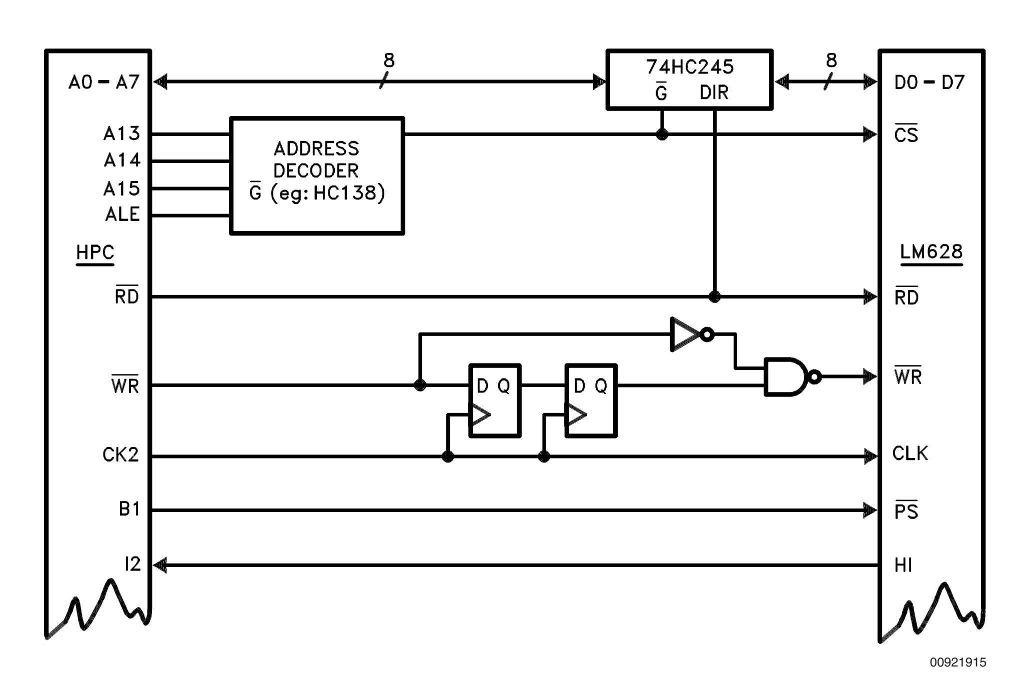


FIGURE 13. LM628 and HPC Interface

Typical Applications (Continued)

LM628
DAC
7 6 5 4 3 2 1 0
74LS378
D Q
G
DAC 1210
DI
VCC
VREF
RFB
IOUT1
IOUT2
CS
WR1
B1/B2
XFER
WR2
+5V
+15V
10K
120K
364K
LM 385
+5.0V
OUTPUT OFFSET
500Ω
9.76K
5K
20K
20 pF
LF356
25K
DAC OFFSET
±10V SIGNAL TO POWER AMPLIFIER
00921916

*DAC offset must be adjusted to minimize DAC linearity and monotonicity errors. See text.

FIGURE 14. Interfacing a 12-Bit DAC and LM628

Typical Applications (Continued)

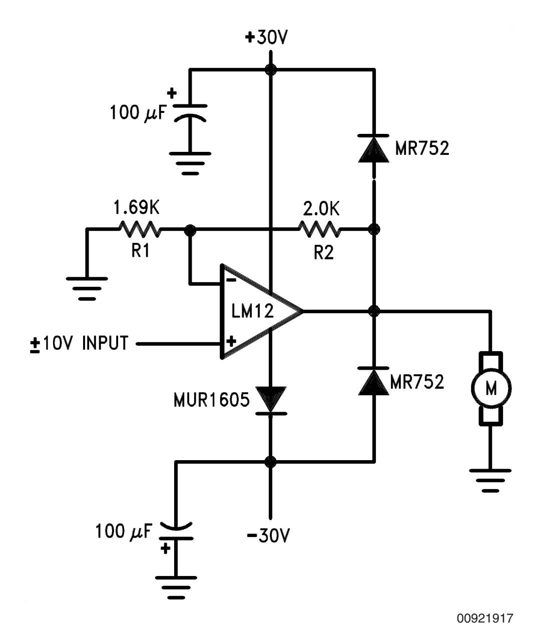


FIGURE 15. Driving a Motor with the LM12 Power Op Amp

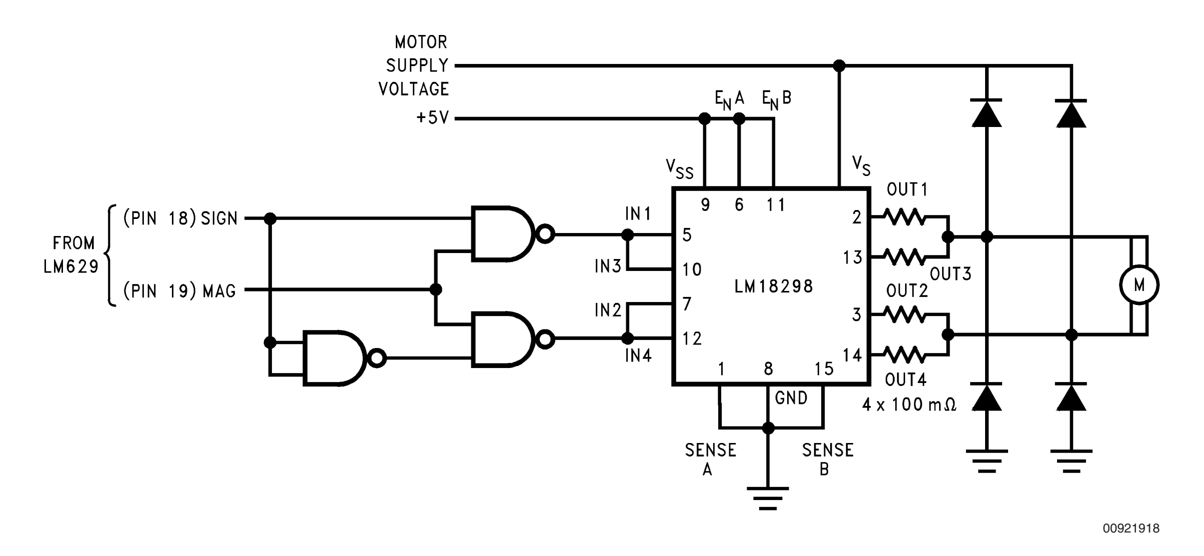


FIGURE 16. PWM Drive for Brush/Commutator Motors

Typical Applications (Continued)

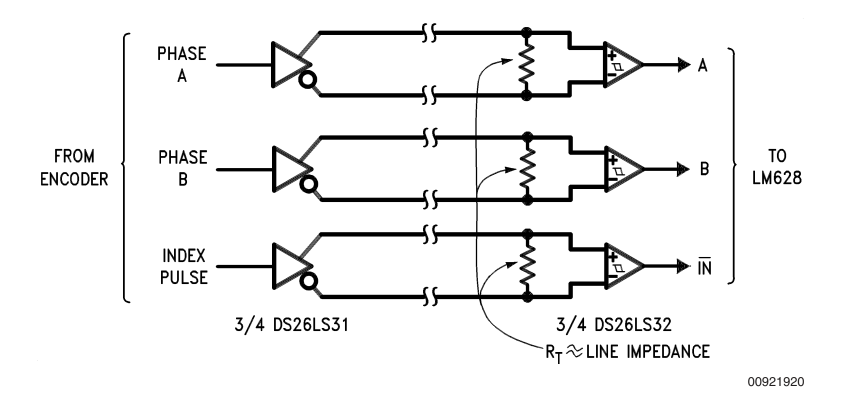
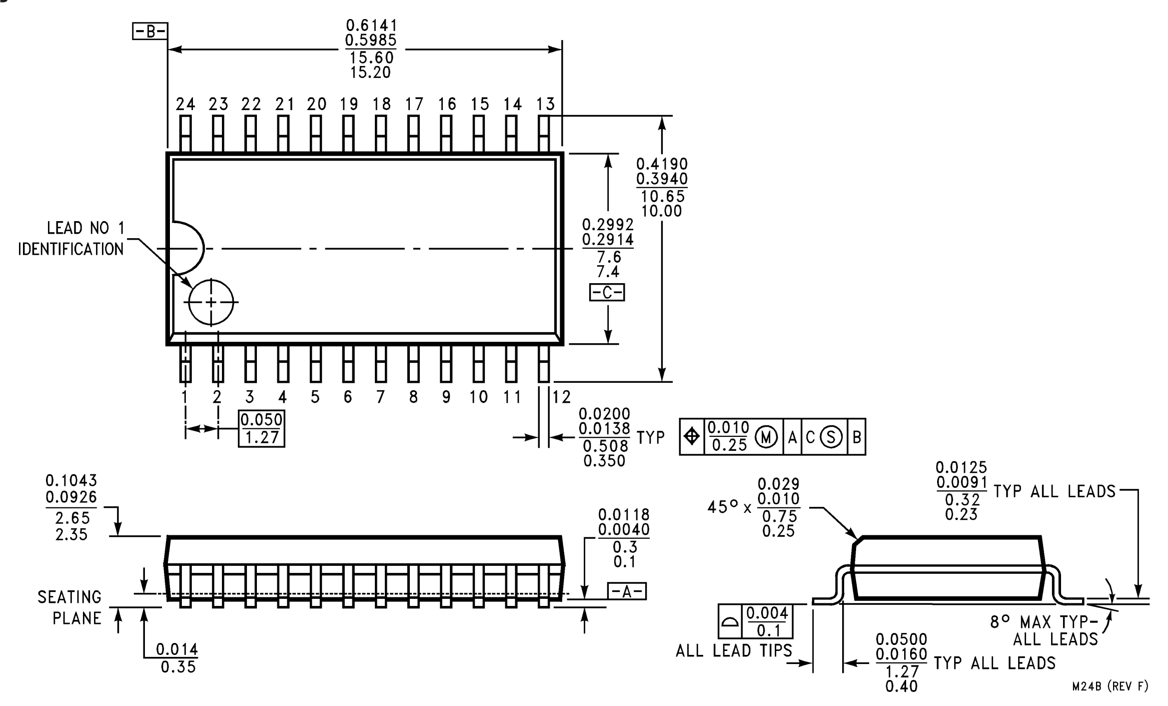
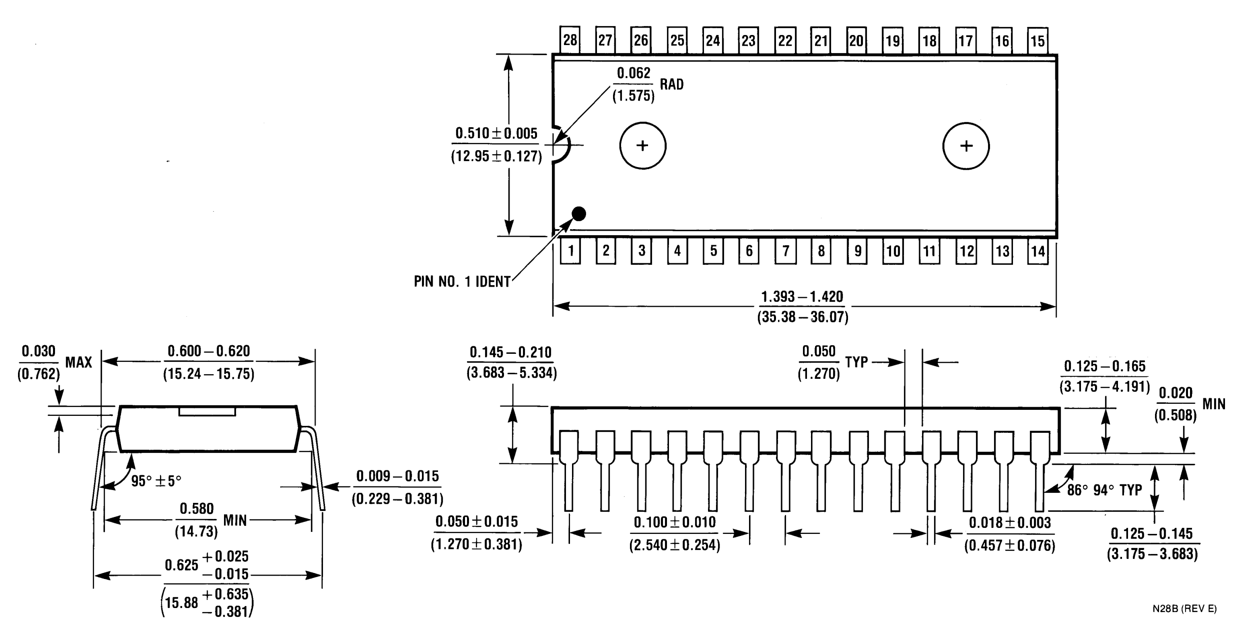


FIGURE 17. Typical Balanced-Line Encoder Input Circuit

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted



24-Lead Small Outline Package (M)
Order Number LM629M-6 or LM629M-8
NS Package Number M24B



28 Lead Molded Dual-In-Line Package (N)
Order Number LM628N-6, LM628N-8, LM629N-6 or LM629N-8
NS Package Number N28B

December 1999



LMD18200 3A, 55V H-Bridge

LMD18200
3A, 55V H-Bridge

General Description

The LMD18200 is a 3A H-Bridge designed for motion control applications. The device is built using a multi-technology process which combines bipolar and CMOS control circuitry with DMOS power devices on the same monolithic structure. Ideal for driving DC and stepper motors; the LMD18200 accommodates peak output currents up to 6A. An innovative circuit which facilitates low-loss sensing of the output current has been implemented.

Features

- Delivers up to 3A continuous output
- Operates at supply voltages up to 55V
- Low R_{DS}(ON) typically 0.3Ω per switch
- TTL and CMOS compatible inputs
- No "shoot-through" current
- Thermal warning flag output at 145˚C
- Thermal shutdown (outputs off) at 170˚C
- Internal clamp diodes
- Shorted load protection
- Internal charge pump with external bootstrap capability

Applications

- DC and stepper motor drives
- Position and velocity servomechanisms
- Factory automation robots
- Numerically controlled machinery
- Computer printers and plotters

Functional Diagram

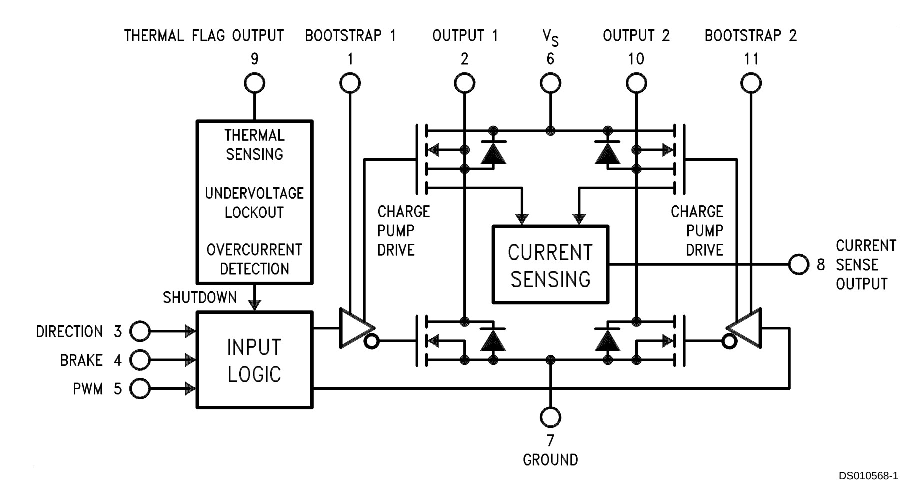
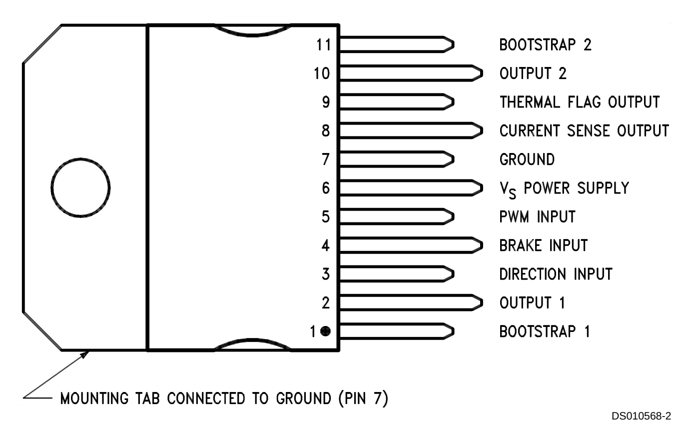
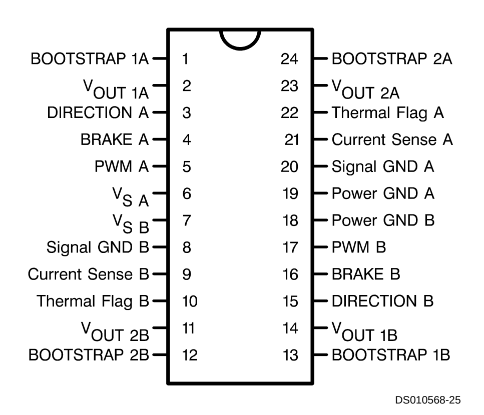


FIGURE 1. Functional Block Diagram of LMD18200

Connection Diagrams and Ordering Information



11-Lead TO-220 Package
Top View
Order Number LMD18200T
See NS Package TA11B



24-Lead Dual-in-Line Package
Top View
Order Number LMD18200-2D-QV
5962-9232501VXA
LMD18200-2D/883
5962-9232501MXA
See NS Package DA24B

Absolute Maximum Ratings (Note 1)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/ Distributors for availability and specifications.

Total Supply Voltage (V_S, Pin 6)	60V
Voltage at Pins 3, 4, 5, 8 and 9	12V
Voltage at Bootstrap Pins (Pins 1 and 11)	V_{OUT} +16V
Peak Output Current (200 ms)	6A
Continuous Output Current (Note 2)	3A
Power Dissipation (Note 3)	25W
Power Dissipation (T_A = 25˚C, Free Air)	3W
Junction Temperature, $T_{J(max)}$	150˚C
ESD Susceptibility (Note 4)	1500V
Storage Temperature, T_{STG}	−40˚C to +150˚C
Lead Temperature (Soldering, 10 sec.)	300˚C

Operating Ratings (Note 1)

Junction Temperature, T_J	−40˚C to +125˚C
V_S Supply Voltage	+12V to +55V

Electrical Characteristics (Note 5)

The following specifications apply for V_S = 42V, unless otherwise specified. **Boldface** limits apply over the entire operating temperature range, −40˚C ≤ T_J ≤ +125˚C, all other limits are for T_A = T_J = 25˚C.

Symbol	Parameter	Conditions	Typ	Limit	Units
R_{DS}(ON)	Switch ON Resistance	Output Current = 3A (Note 6)	0.33	0.4/**0.6**	Ω (max)
R_{DS}(ON)	Switch ON Resistance	Output Current = 6A (Note 6)	0.33	0.4/**0.6**	Ω (max)
V_{CLAMP}	Clamp Diode Forward Drop	Clamp Current = 3A (Note 6)	1.2	1.5	V (max)
V_{IL}	Logic Low Input Voltage	Pins 3, 4, 5		**−0.1**	V (min)
				0.8	V (max)
I_{IL}	Logic Low Input Current	V_{IN} = −0.1V, Pins = 3, 4, 5		**−10**	µA (max)
V_{IH}	Logic High Input Voltage	Pins 3, 4, 5		**2**	V (min)
				12	V (max)
I_{IH}	Logic High Input Current	V_{IN} = 12V, Pins = 3, 4, 5		**10**	µA (max)
	Current Sense Output	I_{OUT} = 1A (Note 8)	377	325/**300**	µA (min)
				425/**450**	µA (max)
	Current Sense Linearity	1A ≤ I_{OUT} ≤ 3A (Note 7)	±6	±9	%
	Undervoltage Lockout	Outputs turn OFF		9	V (min)
				11	V (max)
T_{JW}	Warning Flag Temperature	Pin 9 ≤ 0.8V, I_L = 2 mA	145		˚C
V_F(ON)	Flag Output Saturation Voltage	T_J = T_{JW}, I_L = 2 mA	0.15		V
I_F(OFF)	Flag Output Leakage	V_F = 12V	0.2	10	µA (max)
T_{JSD}	Shutdown Temperature	Outputs Turn OFF	170		˚C
I_S	Quiescent Supply Current	All Logic Inputs Low	13	25	mA (max)
t_{Don}	Output Turn-On Delay Time	Sourcing Outputs, I_{OUT} = 3A	300		ns
		Sinking Outputs, I_{OUT} = 3A	300		ns
t_{on}	Output Turn-On Switching Time	Bootstrap Capacitor = 10 nF			
		Sourcing Outputs, I_{OUT} = 3A	100		ns
		Sinking Outputs, I_{OUT} = 3A	80		ns
t_{Doff}	Output Turn-Off Delay Times	Sourcing Outputs, I_{OUT} = 3A	200		ns
		Sinking Outputs, I_{OUT} = 3A	200		ns
t_{off}	Output Turn-Off Switching Times	Bootstrap Capacitor = 10 nF			
		Sourcing Outputs, I_{OUT} = 3A	75		ns
		Sinking Outputs, I_{OUT} = 3A	70		ns
t_{pw}	Minimum Input Pulse Width	Pins 3, 4 and 5	1		µs
t_{cpr}	Charge Pump Rise Time	No Bootstrap Capacitor	20		µs

Electrical Characteristics Notes

Note 1: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. DC and AC electrical specifications do not apply when operating the device beyond its rated operating conditions.

Note 2: See Application Information for details regarding current limiting.

Note 3: The maximum power dissipation must be derated at elevated temperatures and is a function of $T_{J(max)}$, θ_{JA}, and T_A. The maximum allowable power dissipation at any temperature is $P_{D(max)} = (T_{J(max)} - T_A)/\theta_{JA}$, or the number given in the Absolute Ratings, whichever is lower. The typical thermal resistance from junction to case (θ_{JC}) is 1.0˚C/W and from junction to ambient (θ_{JA}) is 30˚C/W. For guaranteed operation $T_{J(max)}$ = 125˚C.

Note 4: Human-body model, 100 pF discharged through a 1.5 kΩ resistor. Except Bootstrap pins (pins 1 and 11) which are protected to 1000V of ESD.

Note 5: All limits are 100% production tested at 25˚C. Temperature extreme limits are guaranteed via correlation using accepted SQC (Statistical Quality Control) methods. All limits are used to calculate AOQL, (Average Outgoing Quality Level).

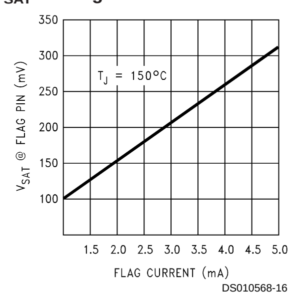
Note 6: Output currents are pulsed (t_W < 2 ms, Duty Cycle < 5%).

Note 7: Regulation is calculated relative to the current sense output value with a 1A load.

Note 8: Selections for tighter tolerance are available. Contact factory.

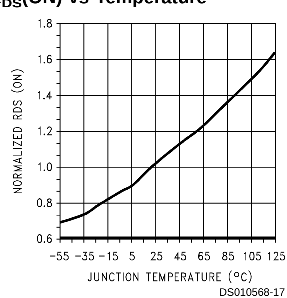
Typical Performance Characteristics

V_{SAT} vs Flag Current



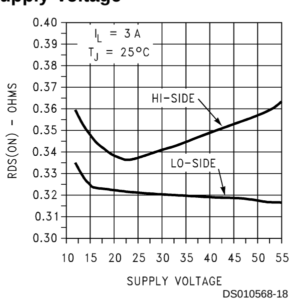
DS010568-16

R_{DS}(ON) vs Temperature



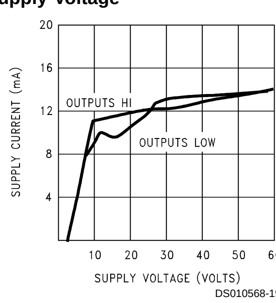
DS010568-17

R_{DS}(ON) vs Supply Voltage



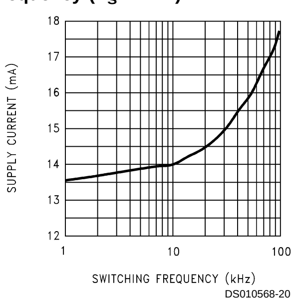
DS010568-18

Supply Current vs Supply Voltage



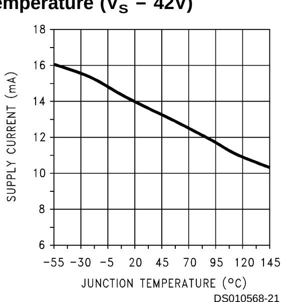
DS010568-19

Supply Current vs Frequency (V_S = 42V)



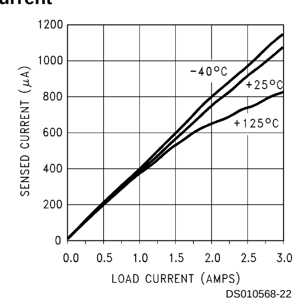
DS010568-20

Supply Current vs Temperature (V_S = 42V)



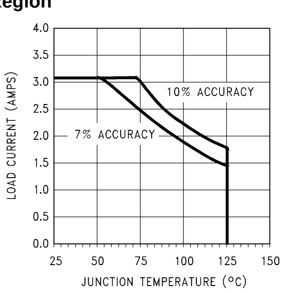
DS010568-21

Current Sense Output vs Load Current



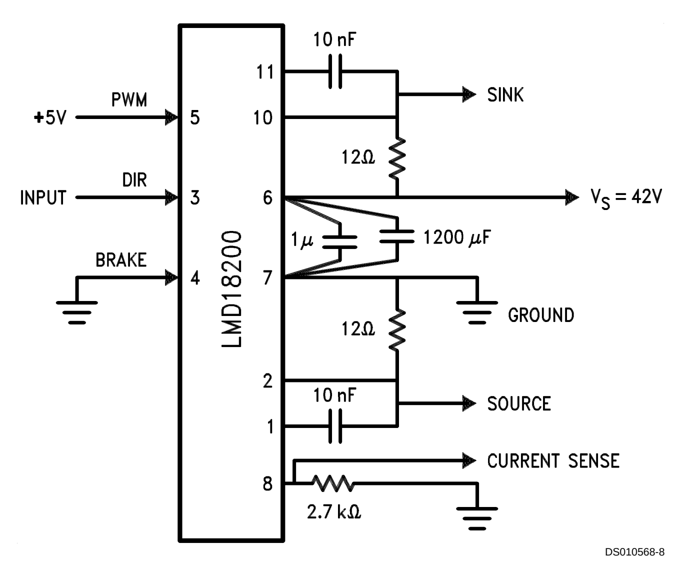
DS010568-22

Current Sense Operating Region



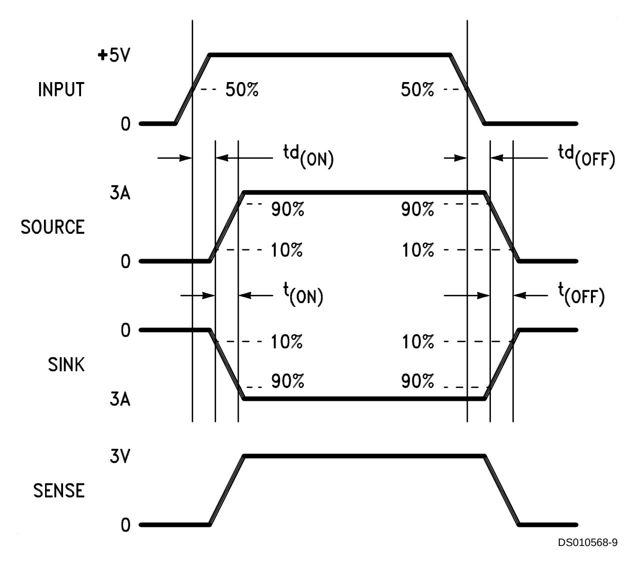
DS010568-23

Test Circuit



DS010568-8

Switching Time Definitions



DS010568-9

Pinout Description (See Connection Diagram)

Pin 1, BOOTSTRAP 1 Input: Bootstrap capacitor pin for half H-bridge number 1. The recommended capacitor (10 nF) is connected between pins 1 and 2.

Pin 2, OUTPUT 1: Half H-bridge number 1 output.

Pin 3, DIRECTION Input: See *Table 1*. This input controls the direction of current flow between OUTPUT 1 and OUTPUT 2 (pins 2 and 10) and, therefore, the direction of rotation of a motor load.

Pin 4, BRAKE Input: See *Table 1*. This input is used to brake a motor by effectively shorting its terminals. When braking is desired, this input is taken to a logic high level and it is also necessary to apply logic high to PWM input, pin 5. The drivers that short the motor are determined by the logic level at the DIRECTION input (Pin 3): with Pin 3 logic high, both current sourcing output transistors are ON; with Pin 3 logic low, both current sinking output transistors are ON. All output transistors can be turned OFF by applying a logic high to Pin 4 and a logic low to PWM input Pin 5; in this case only a small bias current (approximately −1.5 mA) exists at each output pin.

Pin 5, PWM Input: See *Table 1*. How this input (and DIRECTION input, Pin 3) is used is determined by the format of the PWM Signal.

Pinout Description

(See Connection Diagram) (Continued)

Pin 6, V_S Power Supply

Pin 7, GROUND Connection: This pin is the ground return, and is internally connected to the mounting tab.

Pin 8, CURRENT SENSE Output: This pin provides the sourcing current sensing output signal, which is typically 377 µA/A.

Pin 9, THERMAL FLAG Output: This pin provides the thermal warning flag output signal. Pin 9 becomes active-low at 145˚C (junction temperature). However the chip will not shut itself down until 170˚C is reached at the junction.

Pin 10, OUTPUT 2: Half H-bridge number 2 output.

Pin 11, BOOTSTRAP 2 Input: Bootstrap capacitor pin for Half H-bridge number 2. The recommended capacitor (10 nF) is connected between pins 10 and 11.

TABLE 1. Logic Truth Table

PWM	Dir	Brake	Active Output Drivers
H	H	L	Source 1, Sink 2
H	L	L	Sink 1, Source 2
L	X	L	Source 1, Source 2
H	H	H	Source 1, Source 2
H	L	H	Sink 1, Sink 2
L	X	H	NONE

Application Information

TYPES OF PWM SIGNALS

The LMD18200 readily interfaces with different forms of PWM signals. Use of the part with two of the more popular forms of PWM is described in the following paragraphs.

Simple, locked anti-phase PWM consists of a single, variable duty-cycle signal in which is encoded both direction and amplitude information (see *Figure 2*). A 50% duty-cycle PWM signal represents zero drive, since the net value of voltage (integrated over one period) delivered to the load is zero. For the LMD18200, the PWM signal drives the direction input (pin 3) and the PWM input (pin 5) is tied to logic high.

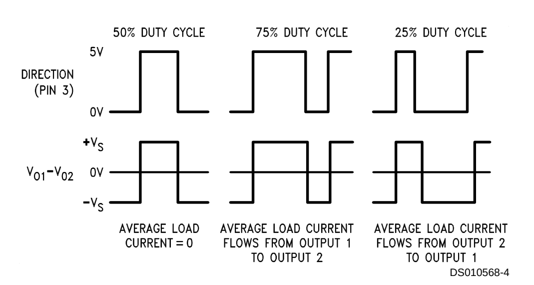


FIGURE 2. Locked Anti-Phase PWM Control

Sign/magnitude PWM consists of separate direction (sign) and amplitude (magnitude) signals (see *Figure 3*). The (absolute) magnitude signal is duty-cycle modulated, and the absence of a pulse signal (a continuous logic low level) represents zero drive. Current delivered to the load is proportional to pulse width. For the LMD18200, the DIRECTION input (pin 3) is driven by the sign signal and the PWM input (pin 5) is driven by the magnitude signal.

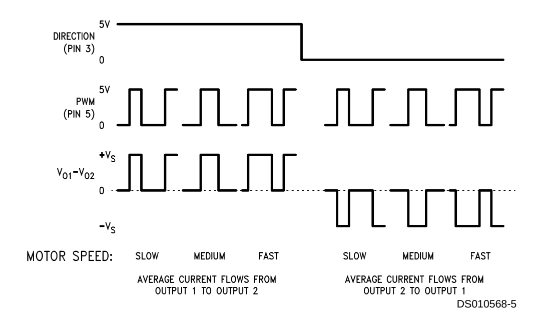


FIGURE 3. Sign/Magnitude PWM Control

SIGNAL TRANSITION REQUIREMENTS

To ensure proper internal logic performance, it is good practice to avoid aligning the falling and rising edges of input signals. A delay of at least 1 µsec should be incorporated between transitions of the Direction, Brake, and/or PWM input signals. A conservative approach is be sure there is at least 500ns delay between the end of the first transition and the beginning of the second transition. See *Figure 4*.

Application Information (Continued)

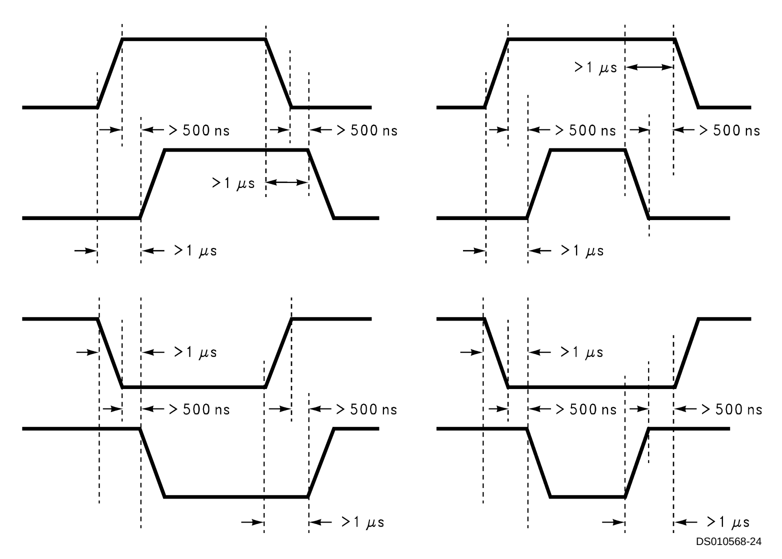


FIGURE 4. Transitions in Brake, Direction, or PWM Must Be Separated By At Least 1 µsec

USING THE CURRENT SENSE OUTPUT

The CURRENT SENSE output (pin 8) has a sensitivity of 377 µA per ampere of output current. For optimal accuracy and linearity of this signal, the value of voltage generating resistor between pin 8 and ground should be chosen to limit the maximum voltage developed at pin 8 to 5V, or less. The maximum voltage compliance is 12V.

It should be noted that the recirculating currents (free wheeling currents) are ignored by the current sense circuitry. Therefore, only the currents in the upper sourcing outputs are sensed.

USING THE THERMAL WARNING FLAG

The THERMAL FLAG output (pin 9) is an open collector transistor. This permits a wired OR connection of thermal warning flag outputs from multiple LMD18200's, and allows the user to set the logic high level of the output signal swing to match system requirements. This output typically drives the interrupt input of a system controller. The interrupt service routine would then be designed to take appropriate steps, such as reducing load currents or initiating an orderly system shutdown. The maximum voltage compliance on the flag pin is 12V.

SUPPLY BYPASSING

During switching transitions the levels of fast current changes experienced may cause troublesome voltage transients across system stray inductance.

It is normally necessary to bypass the supply rail with a high quality capacitor(s) connected as close as possible to the V_S Power Supply (Pin 6) and GROUND (Pin 7). A 1 µF high-frequency ceramic capacitor is recommended. Care should be taken to limit the transients on the supply pin below the Absolute Maximum Rating of the device. When operating the chip at supply voltages above 40V a voltage suppressor (transorb) such as P6KE62A is recommended from supply to ground. Typically the ceramic capacitor can be eliminated in the presence of the voltage suppressor. Note that when driving high load currents a greater amount of supply bypass capacitance (in general at least 100 µF per Amp of load current) is required to absorb the recirculating currents of the inductive loads.

CURRENT LIMITING

Current limiting protection circuitry has been incorporated into the design of the LMD18200. With any power device it is important to consider the effects of the substantial surge currents through the device that may occur as a result of shorted loads. The protection circuitry monitors this increase in current (the threshold is set to approximately 10 Amps) and shuts off the power device as quickly as possible in the event of an overload condition. In a typical motor driving application the most common overload faults are caused by shorted motor windings and locked rotors. Under these conditions the inductance of the motor (as well as any series inductance in the V_{CC} supply line) serves to reduce the magnitude of a current surge to a safe level for the LMD18200. Once the device is shut down, the control circuitry will periodically try to turn the power device back on. This feature allows the immediate return to normal operation in the event that the fault condition has been removed. While the fault remains however, the device will cycle in and out of thermal shutdown. This can create voltage transients on the V_{CC} supply line and therefore proper supply bypassing techniques are required.

The most severe condition for any power device is a direct, hard-wired ("screwdriver") long term short from an output to ground. This condition can generate a surge of current through the power device on the order of 15 Amps and require the die and package to dissipate up to 500 Watts of power for the short time required for the protection circuitry to shut off the power device. This energy can be destructive, particularly at higher operating voltages (>30V) so some precautions are in order. Proper heat sink design is essential and it is normally necessary to heat sink the V_{CC} supply pin (pin 6) with 1 square inch of copper on the PCB.

Application Information (Continued)

INTERNAL CHARGE PUMP AND USE OF BOOTSTRAP CAPACITORS

To turn on the high-side (sourcing) DMOS power devices, the gate of each device must be driven approximately 8V more positive than the supply voltage. To achieve this an internal charge pump is used to provide the gate drive voltage. As shown in *Figure 5*, an internal capacitor is alternately switched to ground and charged to about 14V, then switched to V supply thereby providing a gate drive voltage greater than V supply. This switching action is controlled by a continuously running internal 300 kHz oscillator. The rise time of this drive voltage is typically 20 µs which is suitable for operating frequencies up to 1 kHz.

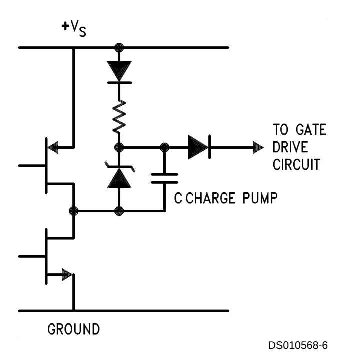


FIGURE 5. Internal Charge Pump Circuitry

For higher switching frequencies, the LMD18200 provides for the use of external bootstrap capacitors. The bootstrap principle is in essence a second charge pump whereby a large value capacitor is used which has enough energy to quickly charge the parasitic gate input capacitance of the power device resulting in much faster rise times. The switching action is accomplished by the power switches themselves *Figure 6*. External 10 nF capacitors, connected from the outputs to the bootstrap pins of each high-side switch provide typically less than 100 ns rise times allowing switching frequencies up to 500 kHz.

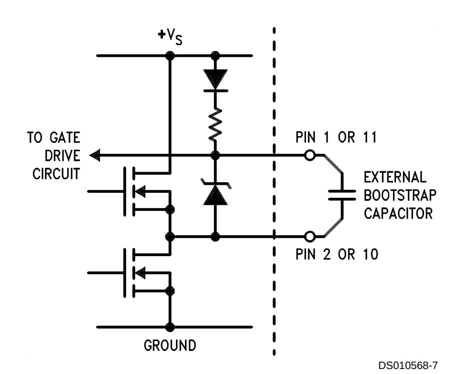


FIGURE 6. Bootstrap Circuitry

INTERNAL PROTECTION DIODES

A major consideration when switching current through inductive loads is protection of the switching power devices from the large voltage transients that occur. Each of the four switches in the LMD18200 have a built-in protection diode to clamp transient voltages exceeding the positive supply or ground to a safe diode voltage drop across the switch.

The reverse recovery characteristics of these diodes, once the transient has subsided, is important. These diodes must come out of conduction quickly and the power switches must be able to conduct the additional reverse recovery current of the diodes. The reverse recovery time of the diodes protecting the sourcing power devices is typically only 70 ns with a reverse recovery current of 1A when tested with a full 6A of forward current through the diode. For the sinking devices the recovery time is typically 100 ns with 4A of reverse current under the same conditions.

Typical Applications

FIXED OFF-TIME CONTROL

This circuit controls the current through the motor by applying an average voltage equal to zero to the motor terminals for a fixed period of time, whenever the current through the motor exceeds the commanded current. This action causes the motor current to vary slightly about an externally controlled average level. The duration of the Off-period is adjusted by the resistor and capacitor combination of the LM555. In this circuit the Sign/Magnitude mode of operation is implemented (see Types of PWM Signals).

Typical Applications (Continued)

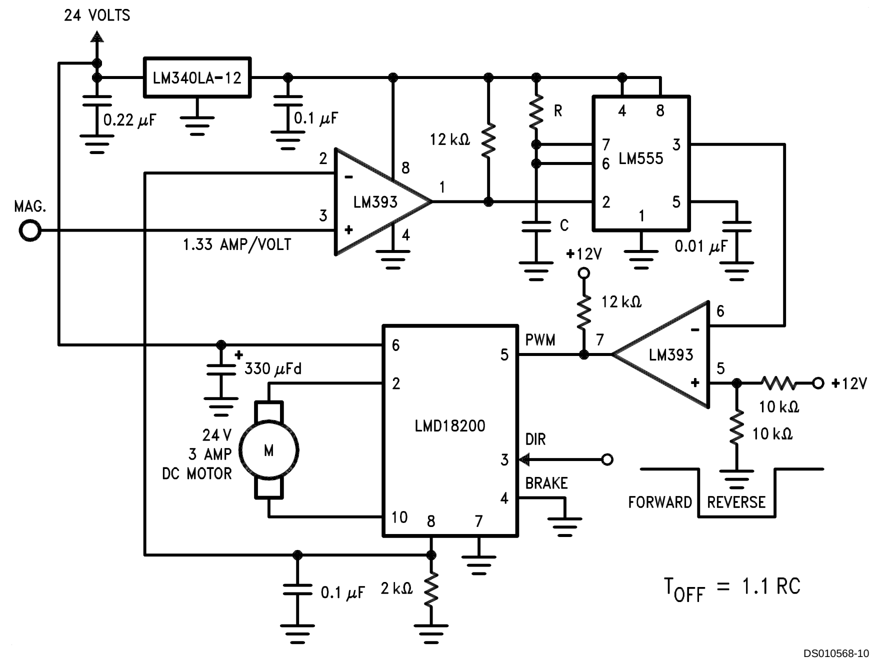


FIGURE 7. Fixed Off-Time Control

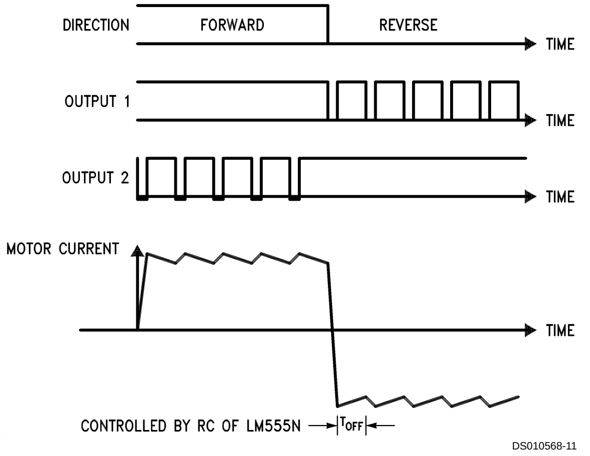


FIGURE 8. Switching Waveforms

TORQUE REGULATION

Locked Anti-Phase Control of a brushed DC motor. Current sense output of the LMD18200 provides load sensing. The LM3525A is a general purpose PWM controller. The relationship of peak motor current to adjustment voltage is shown in *Figure 10*.

Typical Applications (Continued)

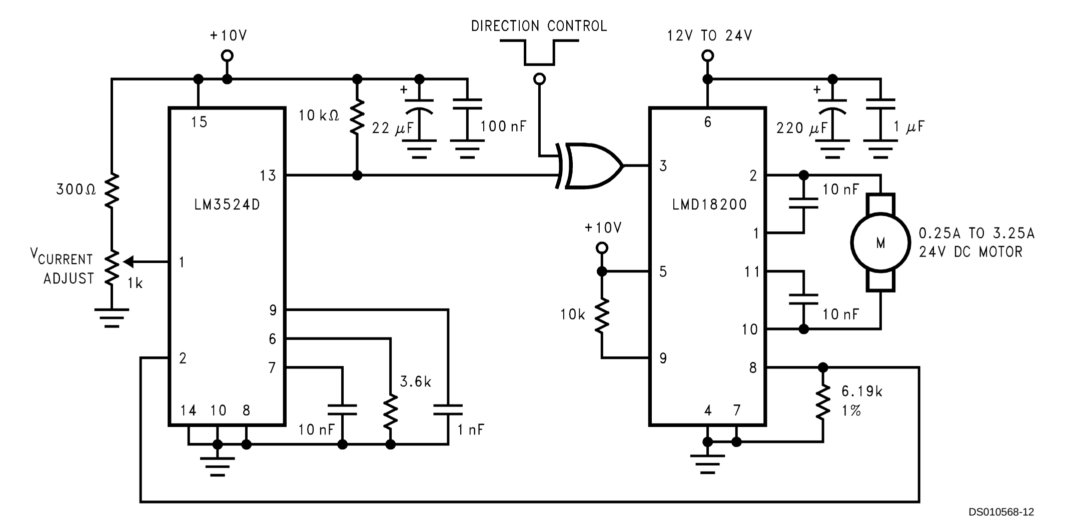


FIGURE 9. Locked Anti-Phase Control Regulates Torque

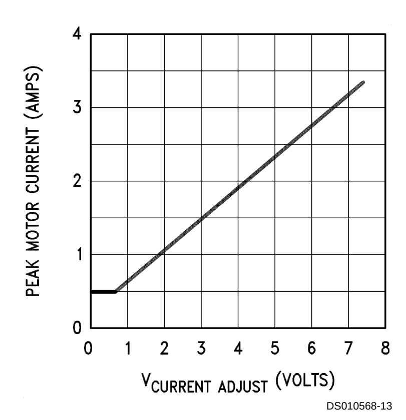


FIGURE 10. Peak Motor Current vs Adjustment Voltage

VELOCITY REGULATION

Utilizes tachometer output from the motor to sense motor speed for a locked anti-phase control loop. The relationship of motor speed to the speed adjustment control voltage is shown in *Figure 12.*

Typical Applications (Continued)

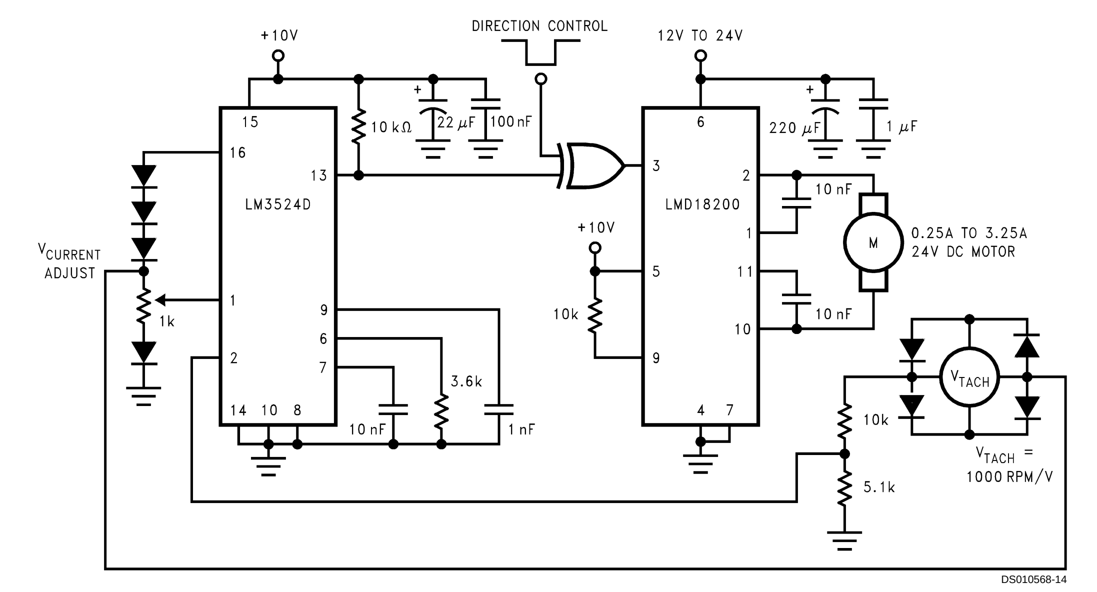


FIGURE 11. Regulate Velocity with Tachometer Feedback

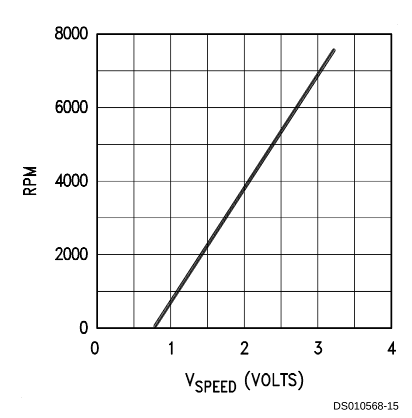
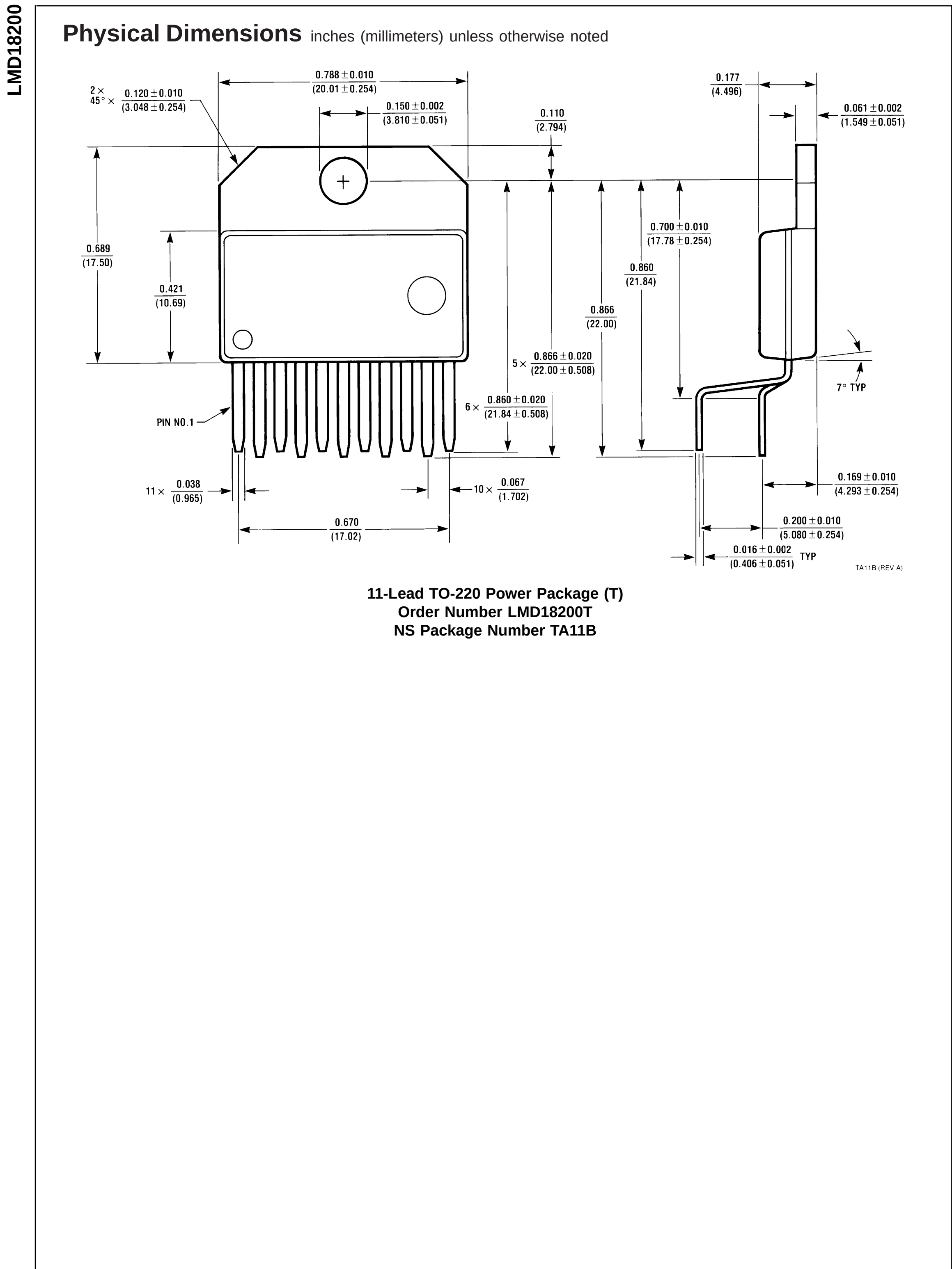


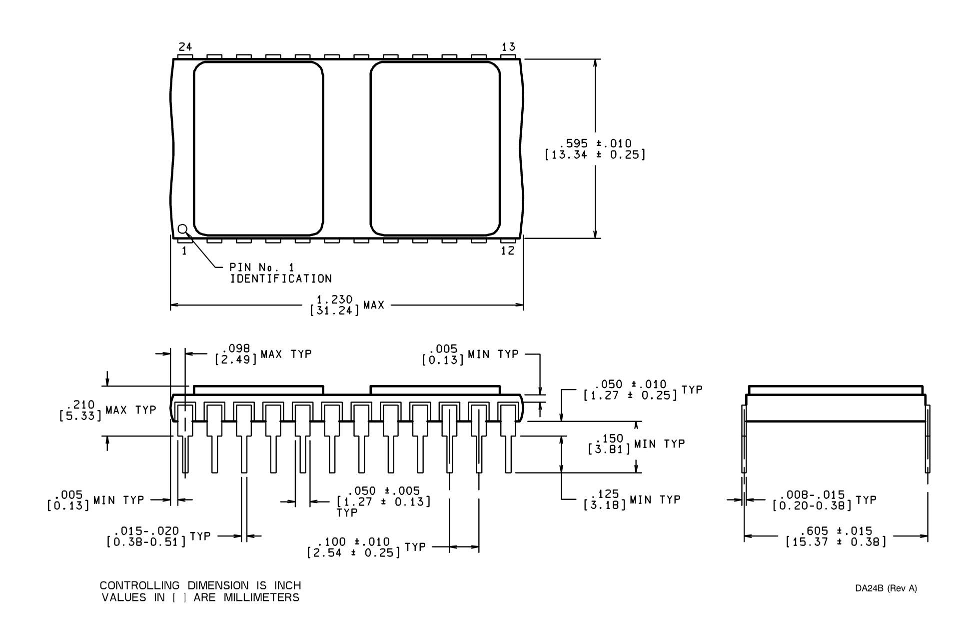
FIGURE 12. Motor Speed vs Control Voltage

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted



11-Lead TO-220 Power Package (T)
Order Number LMD18200T
NS Package Number TA11B

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



24-Lead Dual-in-Line Package
Order Number LMD18200-2D-QV
5962-9232501VXA
LMD18200-2D/883
5962-9232501MXA
NS Package Number DA24B

LIFE SUPPORT POLICY

NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT AND GENERAL COUNSEL OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.



National Semiconductor Corporation
Americas
Tel: 1-800-272-9959
Fax: 1-800-737-7018
Email: support@nsc.com

www.national.com

National Semiconductor Europe
Fax: +49 (0) 1 80-530 85 86
Email: europe.support@nsc.com
Deutsch Tel: +49 (0) 1 80-530 85 85
English Tel: +49 (0) 1 80-532 78 32
Français Tel: +49 (0) 1 80-532 93 58
Italiano Tel: +49 (0) 1 80-534 16 80

National Semiconductor Asia Pacific Customer Response Group
Tel: 65-2544466
Fax: 65-2504466
Email: sea.support@nsc.com

National Semiconductor Japan Ltd.
Tel: 81-3-5639-7560
Fax: 81-3-5639-7507

Notes



National Semiconductor
Americas Customer
Support Center
Email: new.feedback@nsc.com
Tel: 1-800-272-9959

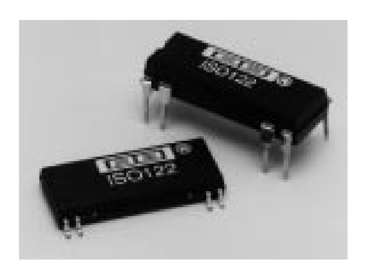
www.national.com

National Semiconductor
Europe Customer Support Center
Fax: +49 (0) 180-530 85 86
Email: europe.support@nsc.com
Deutsch Tel: +49 (0) 69 9508 6208
English Tel: +44 (0) 870 24 0 2171
Français Tel: +33 (0) 1 41 91 8790

National Semiconductor
Asia Pacific Customer
Support Center
Fax: 65-6250 4466
Email: ap.support@nsc.com
Tel: 65-6254 4466

National Semiconductor
Japan Customer Support Center
Fax: 81-3-5639-7507
Email: nsj.crc@jksmtp.nsc.com
Tel: 81-3-5639-7560





ISO122

Precision Lowest Cost ISOLATION AMPLIFIER

FEATURES

- 100% TESTED FOR HIGH-VOLTAGE BREAKDOWN
- RATED 1500Vrms
- HIGH IMR: 140dB at 60Hz
- BIPOLAR OPERATION: $V_O = \pm 10V$
- 16-PIN PLASTIC DIP AND 28-LEAD SOIC
- EASE OF USE: Fixed Unity Gain Configuration
- 0.020% max NONLINEARITY
- ±4.5V to ±18V SUPPLY RANGE

APPLICATIONS

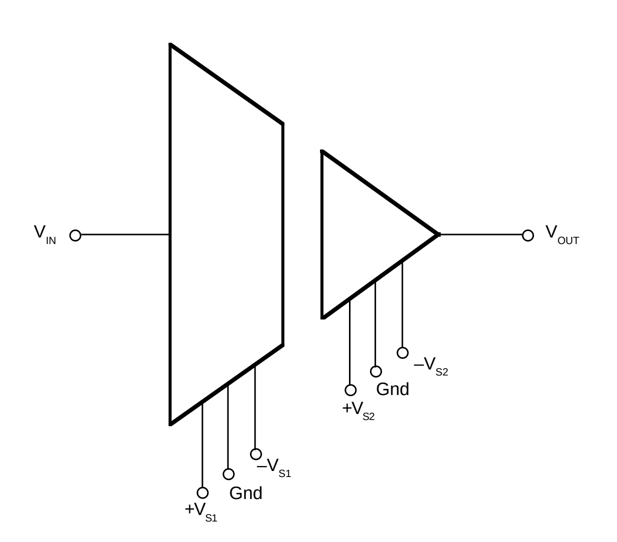
- INDUSTRIAL PROCESS CONTROL: Transducer Isolator, Isolator for Thermocouples, RTDs, Pressure Bridges, and Flow Meters, 4mA to 20mA Loop Isolation
- GROUND LOOP ELIMINATION
- MOTOR AND SCR CONTROL
- POWER MONITORING
- PC-BASED DATA ACQUISITION
- TEST EQUIPMENT

DESCRIPTION

The ISO122 is a precision isolation amplifier incorporating a novel duty cycle modulation-demodulation technique. The signal is transmitted digitally across a 2pF differential capacitive barrier. With digital modulation the barrier characteristics do not affect signal integrity, resulting in excellent reliability and good high frequency transient immunity across the barrier. Both barrier capacitors are imbedded in the plastic body of the package.

The ISO122 is easy to use. No external components are required for operation. The key specifications are 0.020% max nonlinearity, 50kHz signal bandwidth, and 200µV/°C V_{OS} drift. A power supply range of ±4.5V to ±18V and quiescent currents of ±5.0mA on V_{S1} and ±5.5mA on V_{S2} make these amplifiers ideal for a wide range of applications.

The ISO122 is available in 16-pin plastic DIP and 28-lead plastic surface mount packages.



International Airport Industrial Park • Mailing Address: PO Box 11400 • Tucson, AZ 85734 • Street Address: 6730 S. Tucson Blvd. • Tucson, AZ 85706
Tel: (520) 746-1111 • Twx: 910-952-1111 • Cable: BBRCORP • Telex: 066-6491 • FAX: (520) 889-1510 • Immediate Product Info: (800) 548-6132

PDS-857F

Printed in U.S.A. November, 1993

SBOS160

SPECIFICATIONS

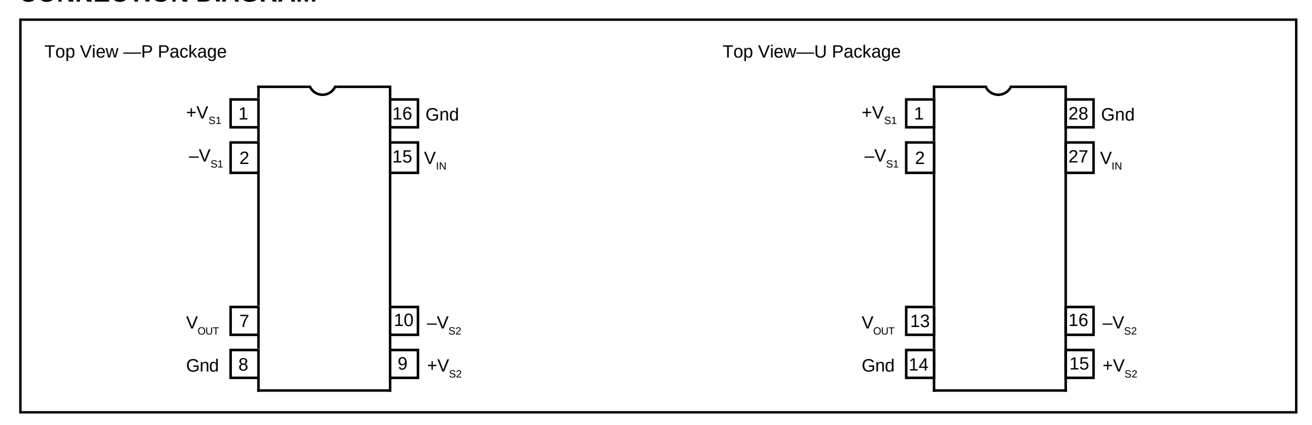
At T_A = +25°C , V_{S1} = V_{S2} = ±15V, and R_L = 2kΩ unless otherwise noted.

		ISO122P/U			ISO122JP/JU			
PARAMETER	**CONDITIONS**	**MIN**	**TYP**	**MAX**	**MIN**	**TYP**	**MAX**	**UNITS**
ISOLATION								
Voltage Rated Continuous AC 60Hz		1500			*			VAC
100% Test [1]	1s, 5pc PD	2400			*			VAC
Isolation Mode Rejection	60Hz		140			*		dB
Barrier Impedance			10^{14} || 2			*		Ω || pF
Leakage Current at 60Hz	V_{ISO} = 240Vrms		0.18	0.5		*	*	µArms
GAIN	V_O = ±10V							
Nominal Gain			1			*		V/V
Gain Error			±0.05	±0.50		*	*	%FSR
Gain vs Temperature			±10			*		ppm/°C
Nonlinearity[2]			±0.016	±0.020		±0.025	±0.050	%FSR
INPUT OFFSET VOLTAGE								
Initial Offset			±20	±50		*	*	mV
vs Temperature			±200			*		µV/°C
vs Supply			±2			*		mV/V
Noise			4			*		µV/√Hz
INPUT								
Voltage Range		±10	±12.5		*	*		V
Resistance			200			*		kΩ
OUTPUT								
Voltage Range		±10	±12.5		*	*		V
Current Drive		±5	±15		*	*		mA
Capacitive Load Drive			0.1			*		µF
Ripple Voltage[3]			20			*		mVp-p
FREQUENCY RESPONSE								
Small Signal Bandwidth			50			*		kHz
Slew Rate			2			*		V/µs
Settling Time	V_O = ±10V							
0.1%			50			*		µs
0.01%			350			*		µs
Overload Recover Time			150			*		µs
POWER SUPPLIES								
Rated Voltage			±15			*		V
Voltage Range		±4.5		±18	*		*	V
Quiescent Current: V_{S1}			±5.0	±7.0		*	*	mA
V_{S2}			±5.5	±7.0		*	*	mA
TEMPERATURE RANGE								
Specification		–25		+85	*		*	°C
Operating		–25		+85	*		*	°C
Storage		–40		+85	*		*	°C
θ_{JA}			100			*		°C/W
θ_{JC}			65			*		°C/W

* Specification same as ISO122P/U.

NOTES: (1) Tested at 1.6 X rated, fail on 5pC partial discharge. (2) Nonlinearity is the peak deviation of the output voltage from the best-fit straight line. It is expressed as the ratio of deviation to FSR. (3) Ripple frequency is at carrier frequency (500kHz).

CONNECTION DIAGRAM



PACKAGE INFORMATION[1]

MODEL	PACKAGE	PACKAGE DRAWING NUMBER
ISO122P	16-Pin Plastic DIP	238
ISO122JP	16-Pin Plastic DIP	238
ISO122U	28-Pin Plastic SOIC	217-1
ISO122JU	28-Pin Plastic SOIC	217-1

NOTE: (1) For detailed drawing and dimension table, please see end of data sheet, or Appendix D of Burr-Brown IC Data Book.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

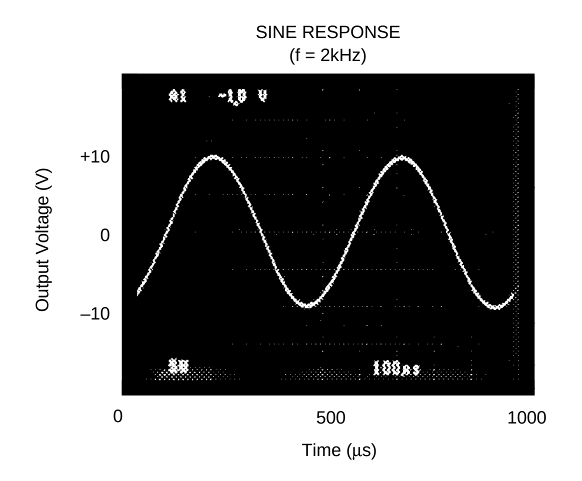
Supply Voltage .... ±18V
V_{IN} .... ±100V
Continuous Isolation Voltage 1500Vrms
Junction Temperature .... +150°C
Storage Temperature .... +85°C
Lead Temperature (soldering, 10s) .... +300°C
Output Short to Common .... Continuous

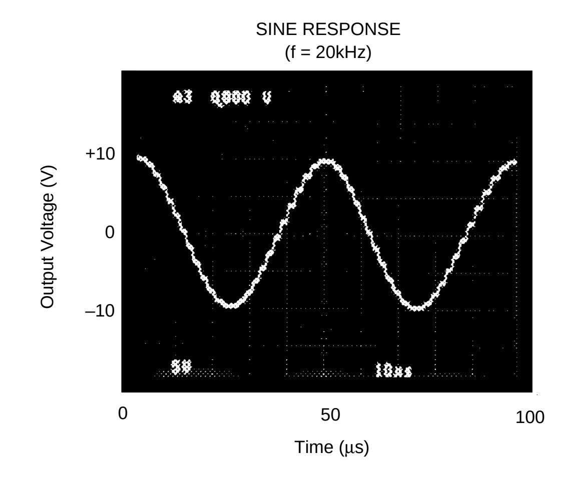
ORDERING INFORMATION

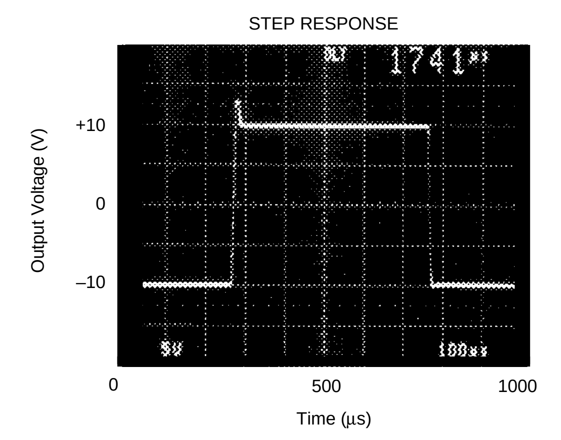
MODEL	PACKAGE	NONLINEARITY MAX %FSR
ISO122P	Plastic DIP	±0.020
ISO122JP	Plastic DIP	±0.050
ISO122U	Plastic SOIC	±0.020
ISO122JU	Plastic SOIC	±0.050

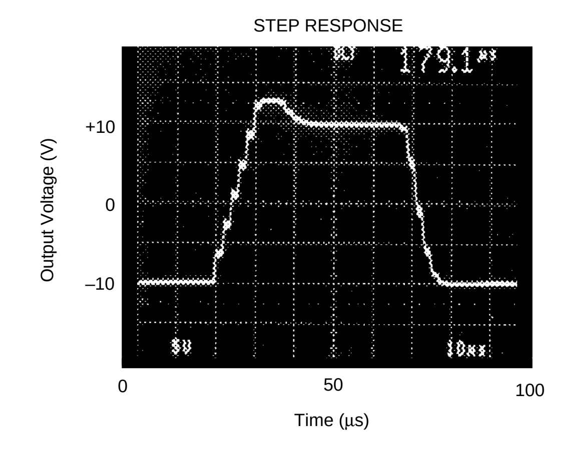
TYPICAL PERFORMANCE CURVES

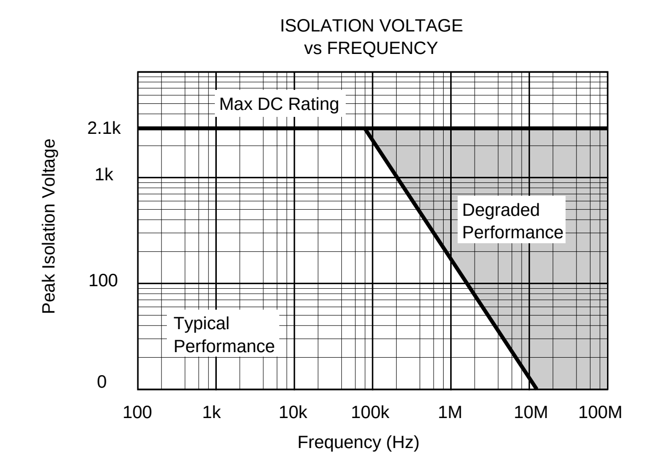
T_A = +25°C, V_S = ±15V unless otherwise noted.

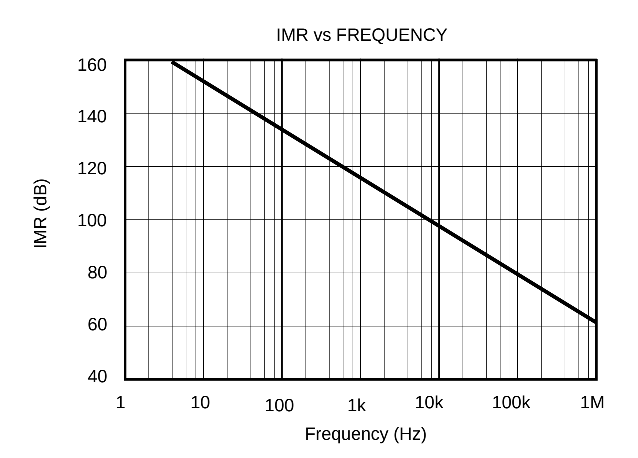






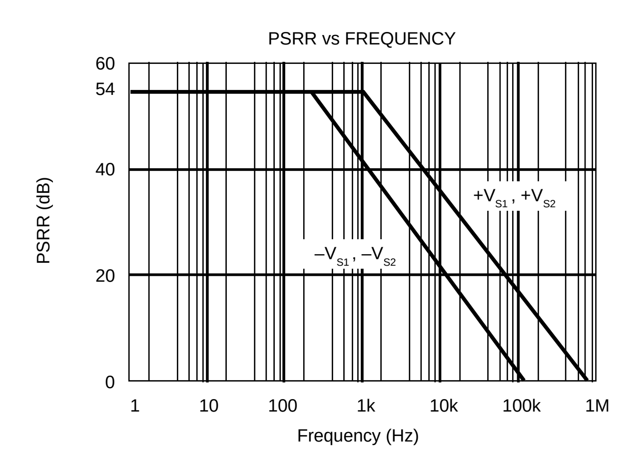


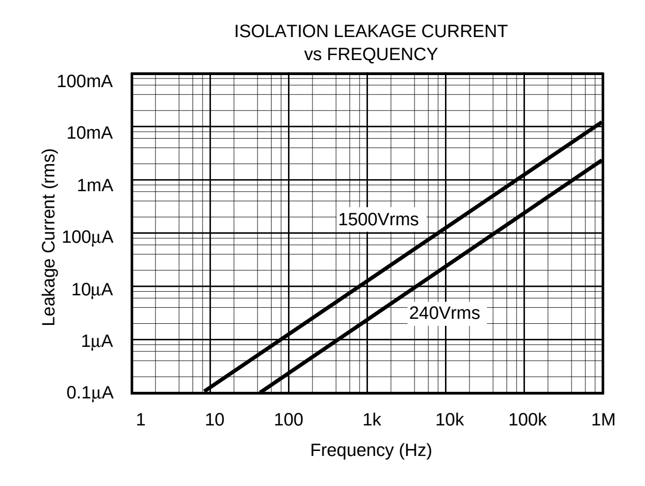


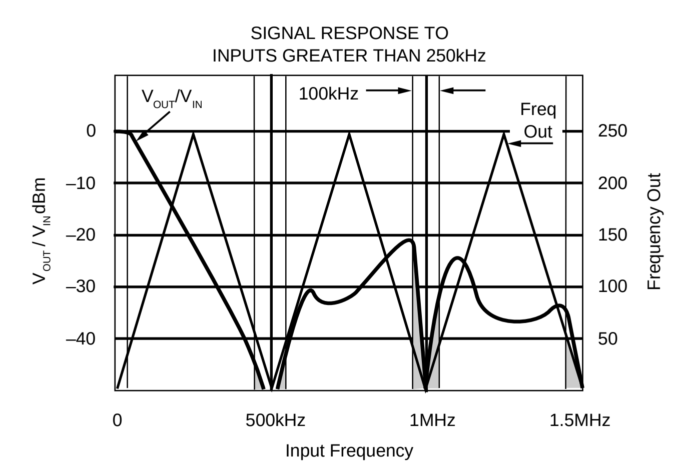


TYPICAL PERFORMANCE CURVES

T_A = +25°C, V_S = ±15V unless otherwise noted.







(NOTE: Shaded area shows aliasing frequencies that cannot be removed by a low-pass filter at the output.)

THEORY OF OPERATION

The ISO122 isolation amplifier uses an input and an output section galvanically isolated by matched 1pF isolating capacitors built into the plastic package. The input is duty-cycle modulated and transmitted digitally across the barrier. The output section receives the modulated signal, converts it back to an analog voltage and removes the ripple component inherent in the demodulation. Input and output sections are fabricated, then laser trimmed for exceptional circuitry matching common to both input and output sections. The sections are then mounted on opposite ends of the package with the isolating capacitors mounted between the two sections. The transistor count of the ISO122 is 250 transistors.

MODULATOR

An input amplifier (A1, Figure 1) integrates the difference between the input current (V_{IN}/200kΩ) and a switched ±100µA current source. This current source is implemented by a switchable 200µA source and a fixed 100µA current sink. To understand the basic operation of the modulator, assume that V_{IN} = 0.0V. The integrator will ramp in one direction until the comparator threshold is exceeded. The comparator and sense amp will force the current source to switch; the resultant signal is a triangular waveform with a 50% duty cycle. The internal oscillator forces the current source to switch at 500kHz. The resultant capacitor drive is a complementary duty-cycle modulation square wave.

DEMODULATOR

The sense amplifier detects the signal transitions across the capacitive barrier and drives a switched current source into integrator A2. The output stage balances the duty-cycle modulated current against the feedback current through the 200kΩ feedback resistor, resulting in an average value at the V_{OUT} pin equal to V_{IN}. The sample and hold amplifiers in the output feedback loop serve to remove undesired ripple voltages inherent in the demodulation process.

BASIC OPERATION

SIGNAL AND SUPPLY CONNECTIONS

Each power supply pin should be bypassed with 1µF tantalum capacitors located as close to the amplifier as possible. The internal frequency of the modulator/demodulator is set at 500kHz by an internal oscillator. Therefore, if it is desired to minimize any feedthrough noise (beat frequencies) from a DC/DC converter, use a π filter on the supplies (see Figure 4). ISO122 output has a 500kHz ripple of 20mV, which can be removed with a simple two pole low-pass filter with a 100kHz cutoff using a low cost op amp. See Figure 4.

The input to the modulator is a current (set by the 200kΩ integrator input resistor) that makes it possible to have an input voltage greater than the input supplies, as long as the output supply is at least ±15V. It is therefore possible when using an unregulated DC/DC converter to minimize PSR related output errors with ±5V voltage regulators on the isolated side and still get the full ±10V input and output swing. An example of this application is shown in Figure 10.

CARRIER FREQUENCY CONSIDERATIONS

The ISO122 amplifier transmits the signal across the isolation barrier by a 500kHz duty cycle modulation technique. For input signals having frequencies below 250kHz, this system works like any linear amplifier. But for frequencies above 250kHz, the behavior is similar to that of a sampling amplifier. The signal response to inputs greater than 250kHz

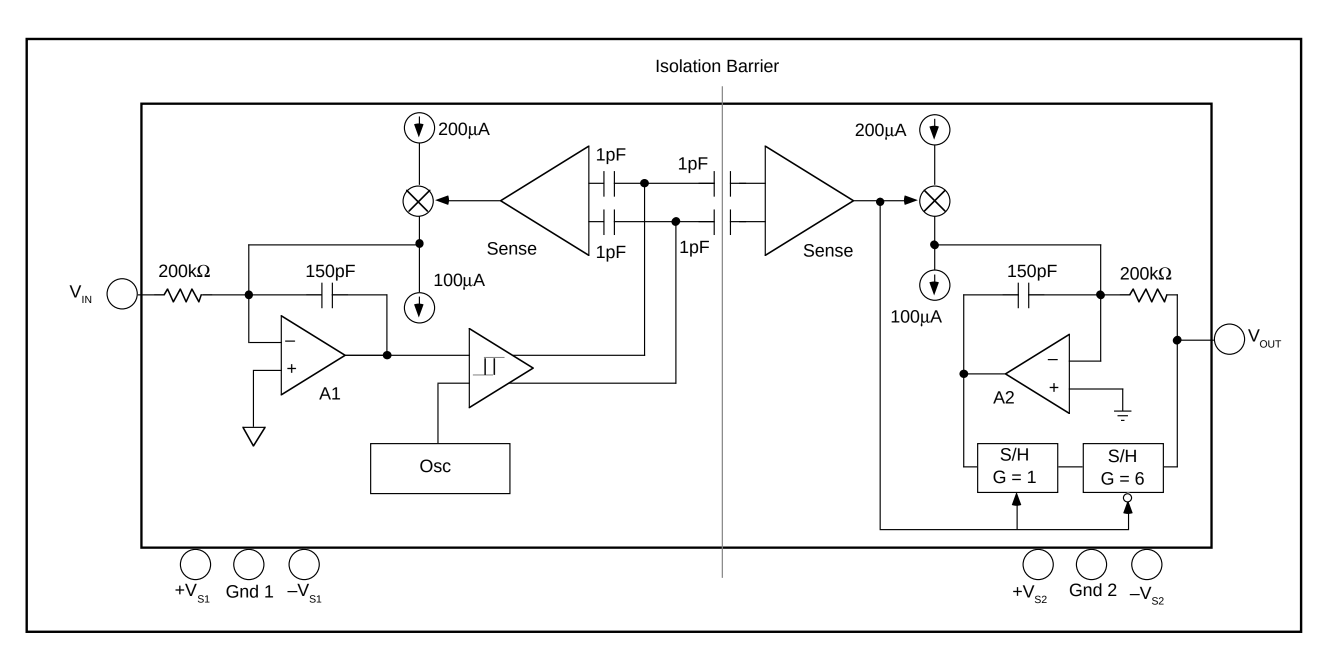


FIGURE 1. Block Diagram.

performance curve shows this behavior graphically; at input frequencies above 250kHz the device generates an output signal component of reduced magnitude at a frequency below 250kHz. This is the aliasing effect of sampling at frequencies less than 2 times the signal frequency (the Nyquist frequency). Note that at the carrier frequency and its harmonics, both the frequency and amplitude of the aliasing go to zero.

ISOLATION MODE VOLTAGE INDUCED ERRORS

IMV can induce errors at the output as indicated by the plots of IMV vs Frequency. It should be noted that if the IMV frequency exceeds 250kHz, the output also will display spurious outputs (aliasing), in a manner similar to that for V_{IN} > 250kHz and the amplifier response will be identical to that shown in the Signal Response to Inputs Greater Than 250kHz performance curve. This occurs because IMV-induced errors behave like input-referred error signals. To predict the total error, divide the isolation voltage by the IMR shown in the IMR vs Frequency curve and compute the amplifier response to this input-referred error signal from the data given in the Signal Response to Inputs Greater than 250kHz performance curve. For example, if a 800kHz 1000Vrms IMR is present, then a total of [(–60dB) + (–30dB)] x (1000V) = 32mV error signal at 200kHz plus a 1V, 800kHz error signal will be present at the output.

HIGH IMV dV/dt ERRORS

As the IMV frequency increases and the dV/dt exceeds 1000V/µs, the sense amp may start to false trigger, and the output will display spurious errors. The common mode current being sent across the barrier by the high slew rate is the cause of the false triggering of the sense amplifier. Lowering the power supply voltages below ±15V may decrease the dV/dt to 500V/µs for typical performance.

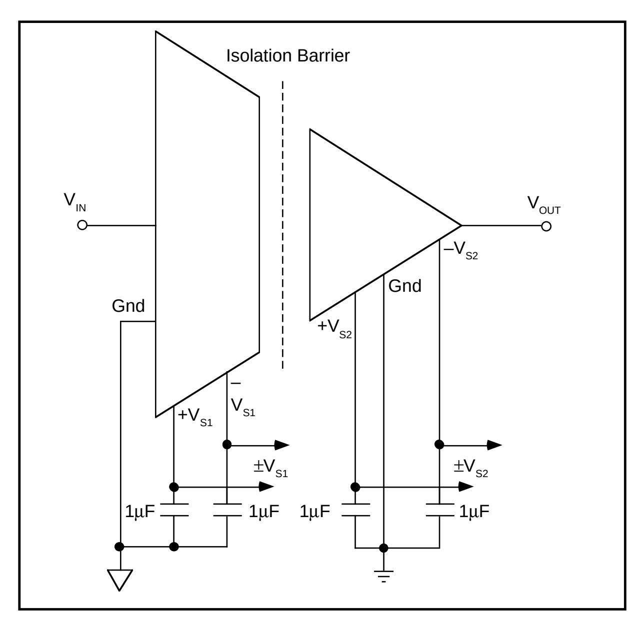


FIGURE 2. Basic Signal and Power Connections.

HIGH VOLTAGE TESTING

Burr-Brown Corporation has adopted a partial discharge test criterion that conforms to the German VDE0884 Optocoupler Standards. This method requires the measurement of minute current pulses (<5pC) while applying 2400Vrms, 60Hz high voltage stress across every ISO122 isolation barrier. No partial discharge may be initiated to pass this test. This criterion confirms transient overvoltage (1.6 x 1500Vrms) protection without damage to the ISO122. Lifetest results verify the absence of failure under continuous rated voltage and maximum temperature.

This new test method represents the "state of the art" for non-destructive high voltage reliability testing. It is based on the effects of non-uniform fields that exist in heterogeneous dielectric material during barrier degradation. In the case of void non-uniformities, electric field stress begins to ionize the void region before bridging the entire high voltage barrier. The transient conduction of charge during and after the ionization can be detected externally as a burst of 0.01-0.1µs current pulses that repeat on each AC voltage cycle. The minimum AC barrier voltage that initiates partial discharge is defined as the "inception voltage." Decreasing the barrier voltage to a lower level is required before partial discharge ceases and is defined as the "extinction voltage." We have characterized and developed the package insulation processes to yield an inception voltage in excess of 2400Vrms so that transient overvoltages below this level will not damage the ISO122. The extinction voltage is above 1500Vrms so that even overvoltage induced partial discharge will cease once the barrier voltage is reduced to the 1500Vrms (rated) level. Older high voltage test methods relied on applying a large enough overvoltage (above rating) to break down marginal parts, but not so high as to damage good ones. Our new partial discharge testing gives us more confidence in barrier reliability than breakdown/no breakdown criteria.

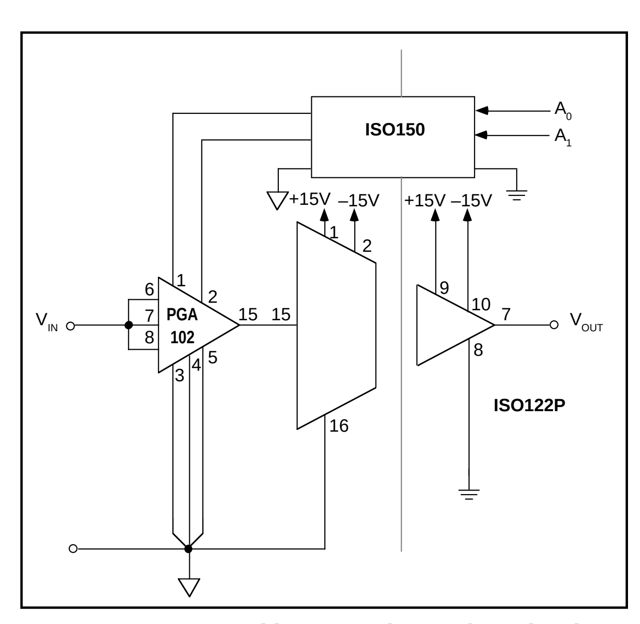


FIGURE 3. Programmable-Gain Isolation Channel with Gains of 1, 10, and 100.

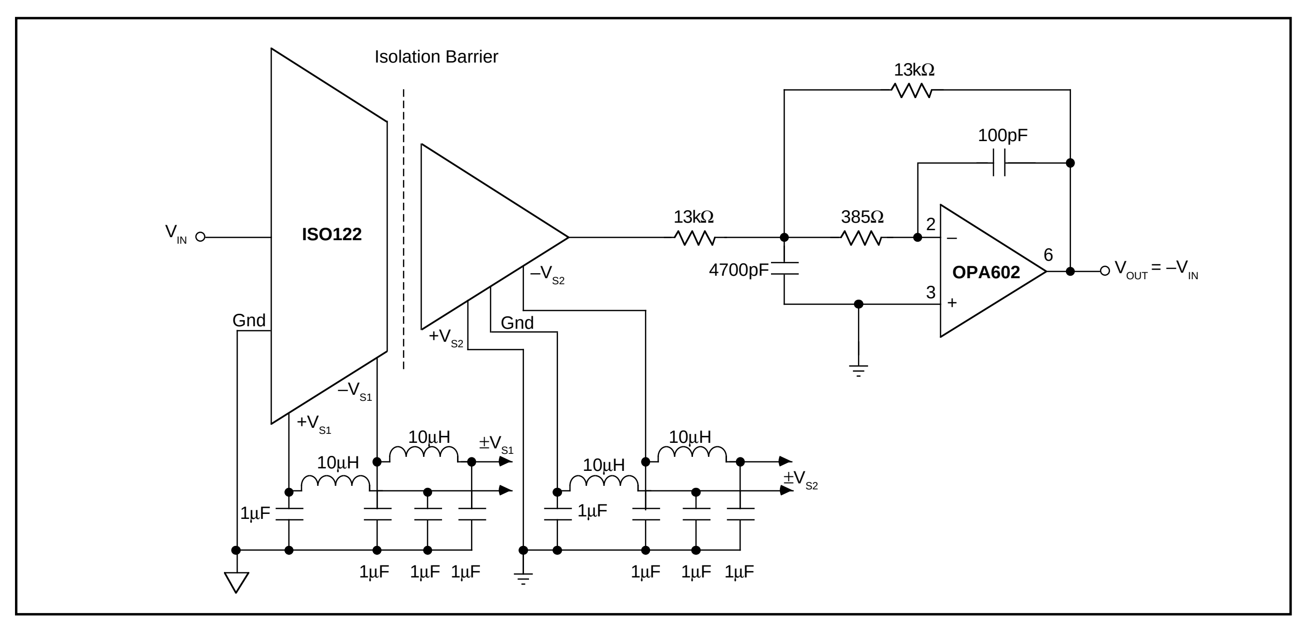
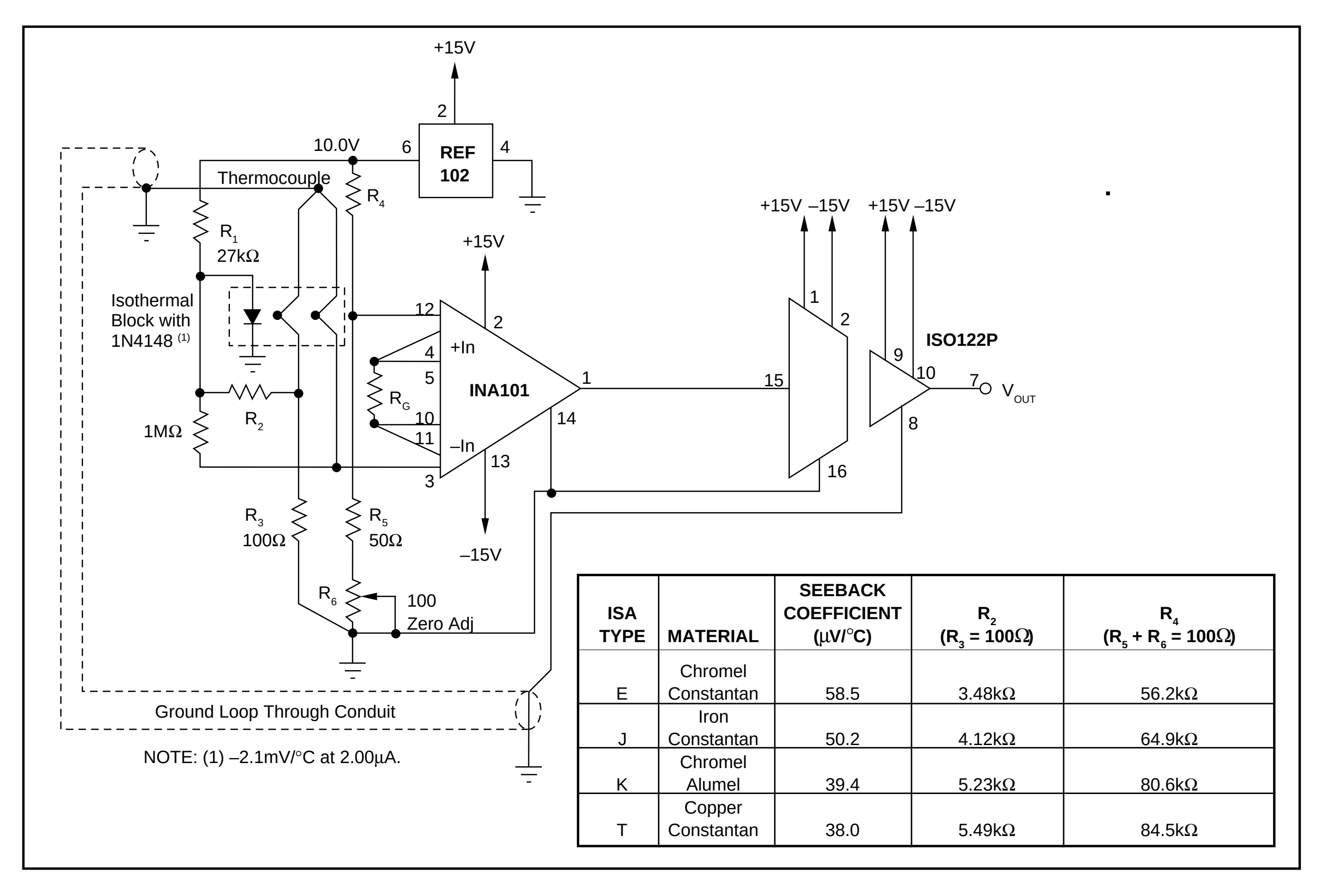


FIGURE 4. Optional π Filter to Minimize Power Supply Feedthrough Noise; Output Filter to Remove 500kHz Carrier Ripple. For more information concerning output filter refer to AB-023.

This Section Repeated 49 Times.
ISO122P
e_1 = 12V
e_2 = 12V
10kΩ
10kΩ
+V
–V
$V = \frac{e_1}{2}$
Multiplexer
Control Section
Charge/Discharge Control
ISO122P
e_{49}=12V
e_{50}=12V
+V –V
25kΩ 25kΩ
25kΩ
25kΩ
INA105
$V = \frac{e_{50}}{2}$

FIGURE 5. Battery Monitor for a 600V Battery Power System. (Derives Input Power from the Battery.)



ISA TYPE	MATERIAL	SEEBACK COEFFICIENT (µV/°C)	R_2 (R_3 = 100Ω)	R_4 (R_5 + R_6 = 100Ω)
E	Chromel Constantan	58.5	3.48kΩ	56.2kΩ
J	Iron Constantan	50.2	4.12kΩ	64.9kΩ
K	Chromel Alumel	39.4	5.23kΩ	80.6kΩ
T	Copper Constantan	38.0	5.49kΩ	84.5kΩ

FIGURE 6. Thermocouple Amplifier with Ground Loop Elimination, Cold Junction Compensation, and Up-scale Burn-out.

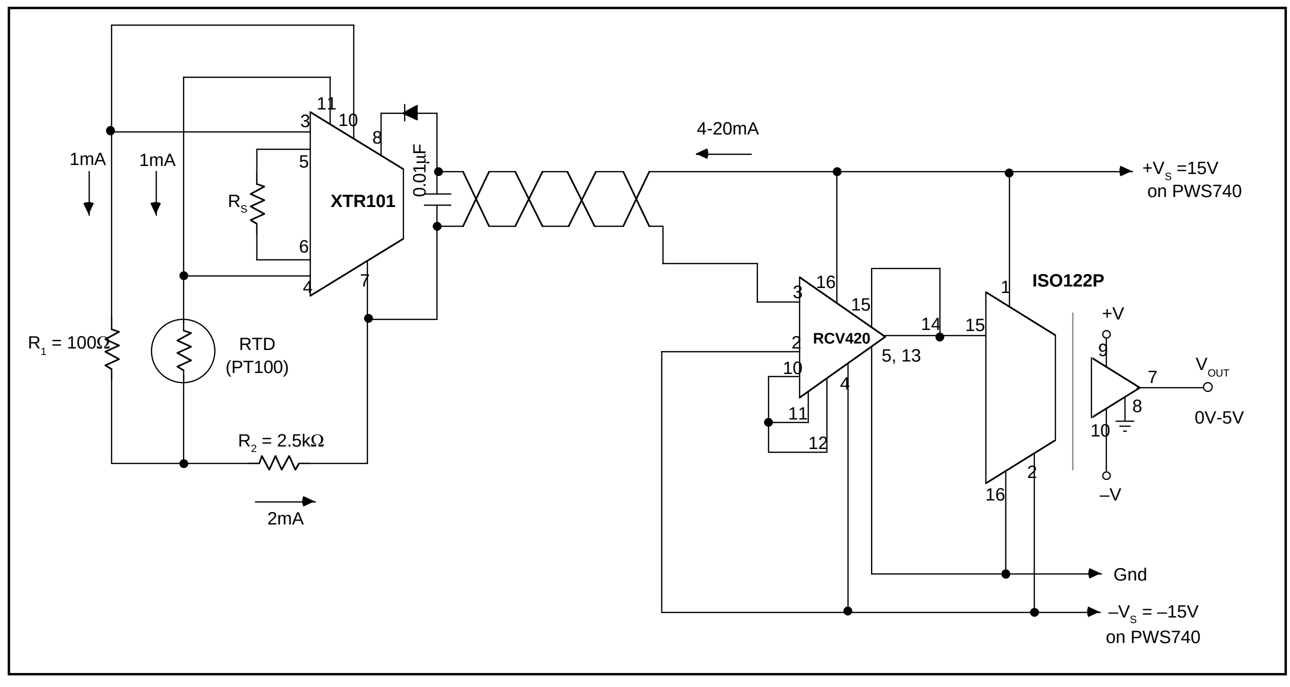


FIGURE 7. Isolated 4-20mA Instrument Loop. (RTD shown.)

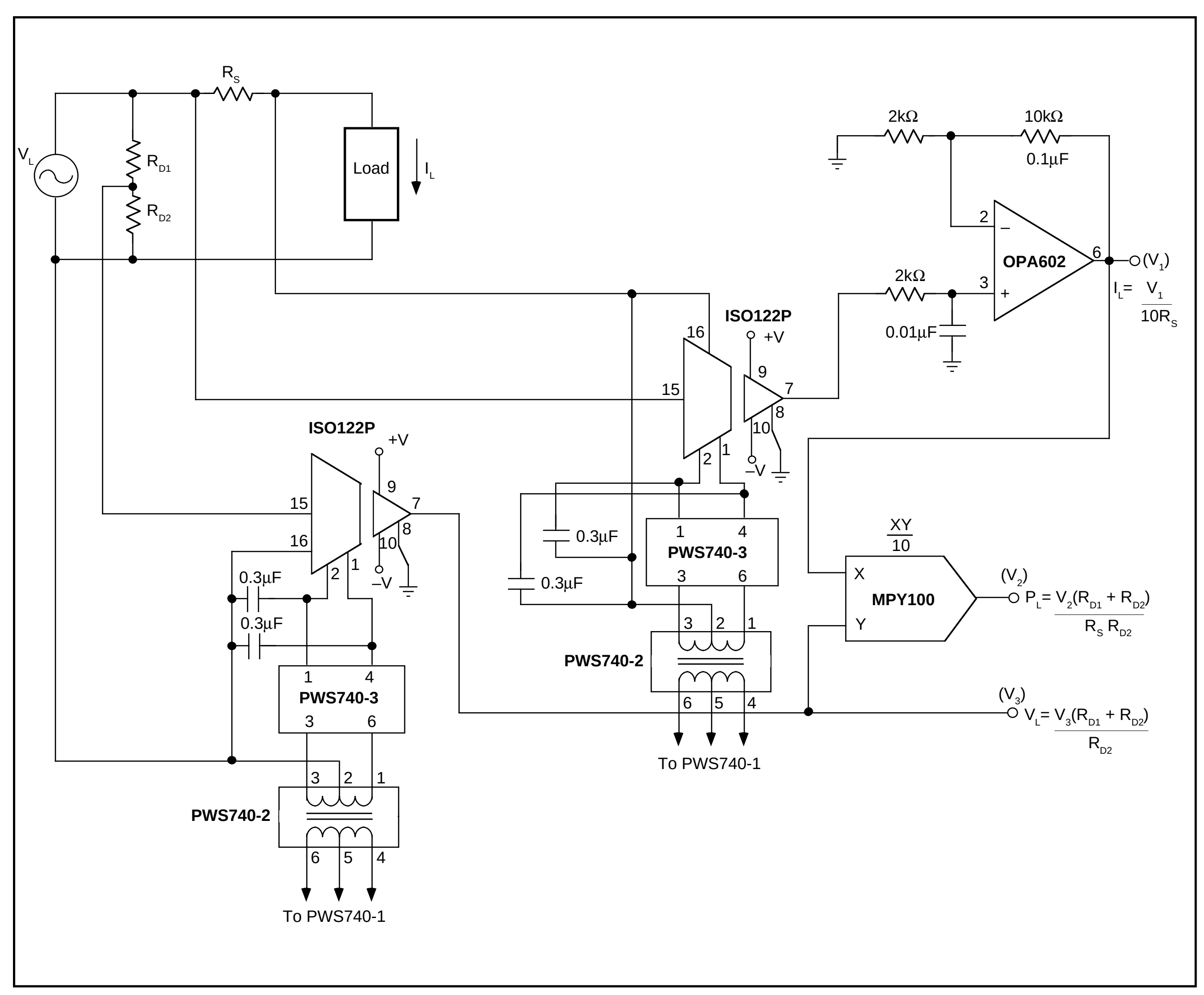


FIGURE 8. Isolated Power Line Monitor.

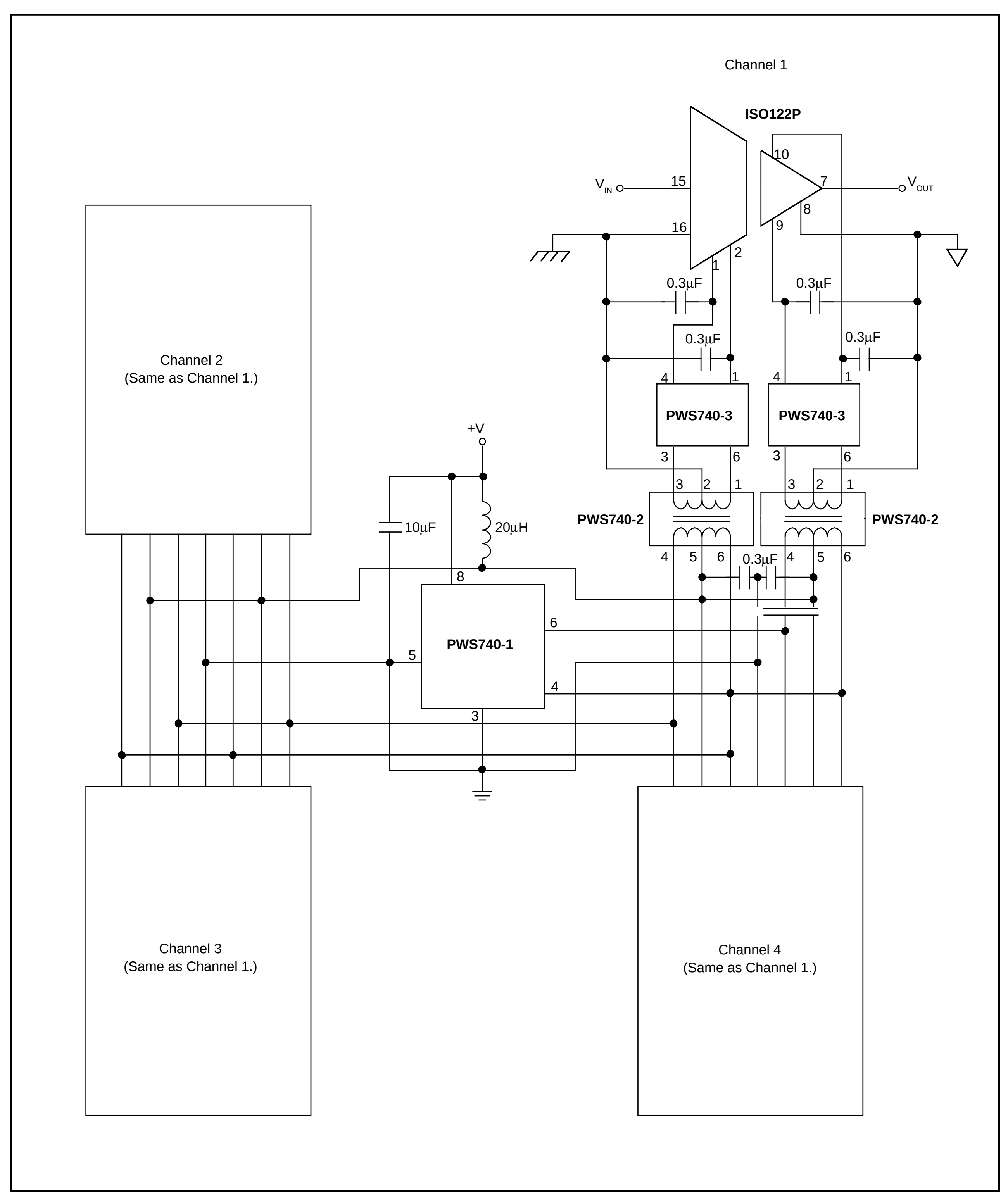


FIGURE 9. Three-Port, Low-Cost, Four-Channel Isolated, Data Acquisition System.

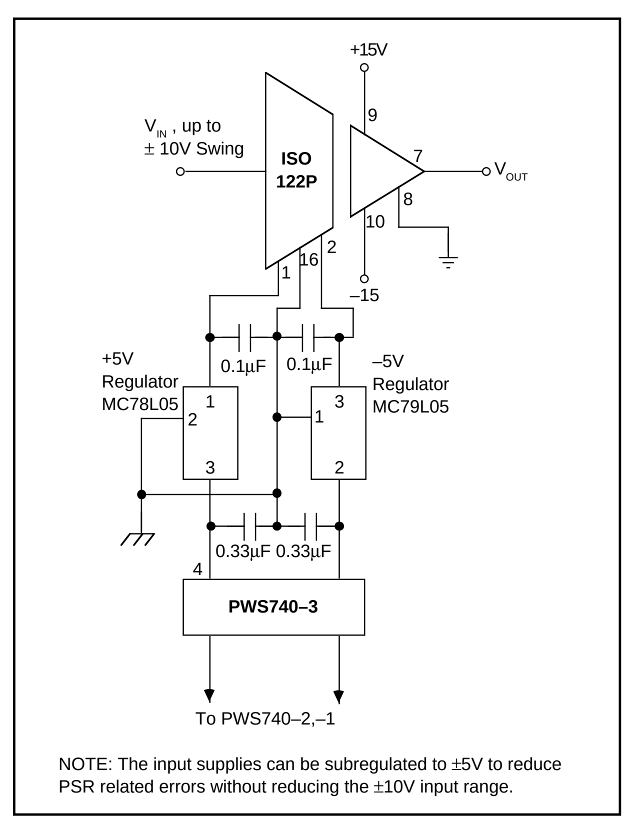
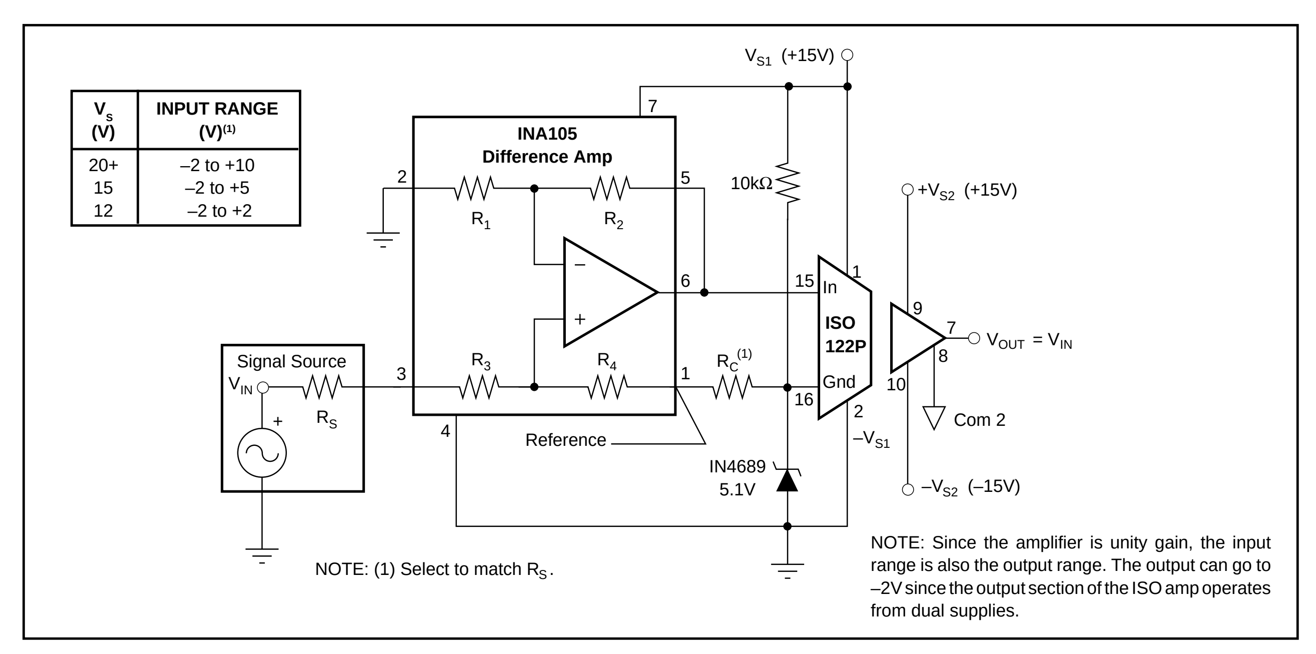


FIGURE 10. Improved PSR Using External Regulator.



V_s (V)	INPUT RANGE (V)(1)
20+	–2 to +10
15	–2 to +5
12	–2 to +2

FIGURE 11. Single Supply Operation of the ISO122P Isolation Amplifier. For additional information see AB-009.

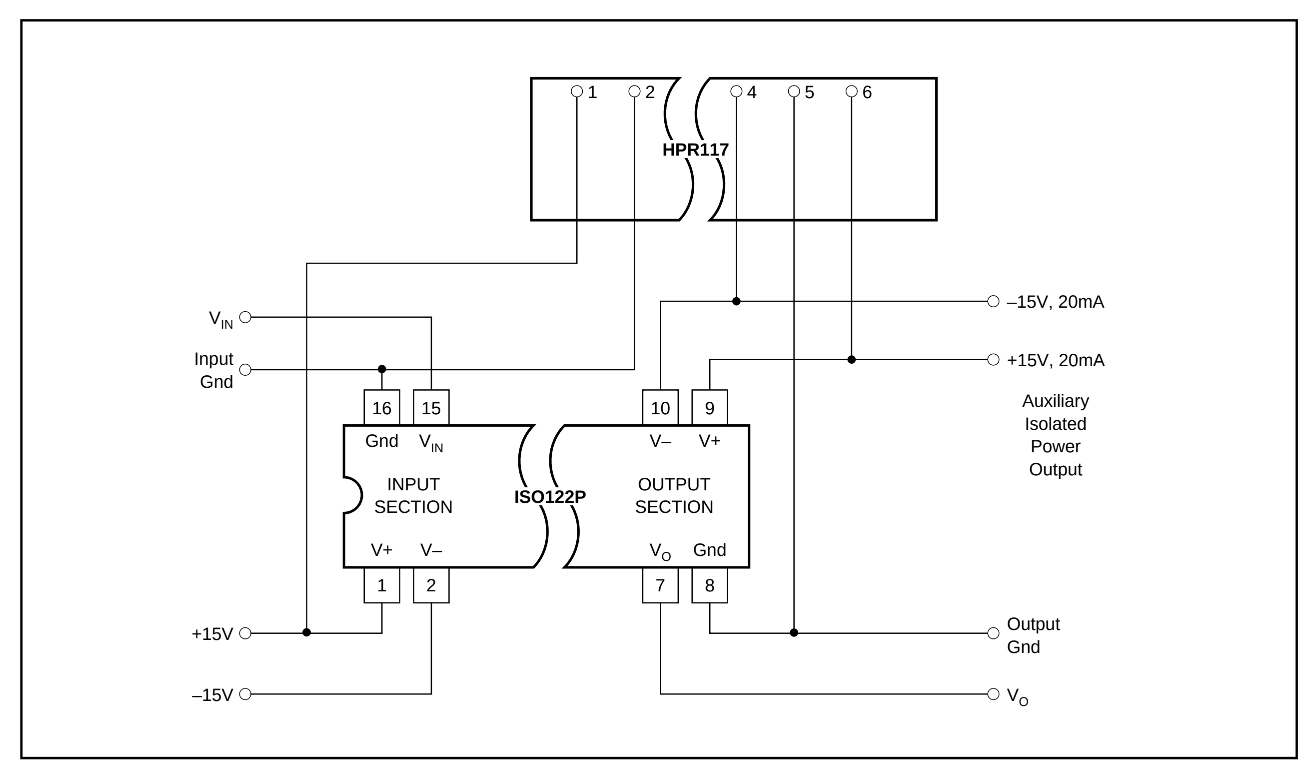


FIGURE 12. Input-Side Powered ISO Amp. For additional information refer to AB-024.

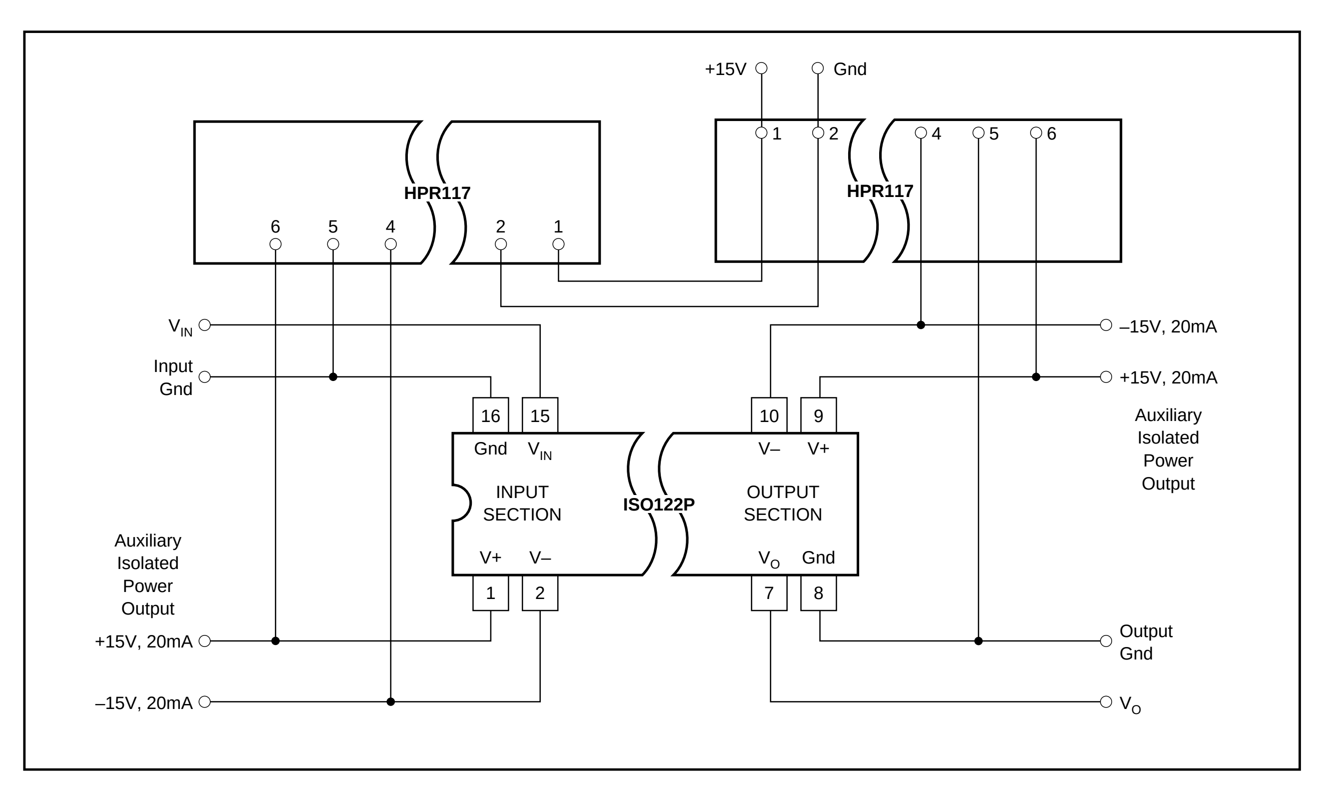


FIGURE 13. Powered ISO Amp with Three-Port Isolation. For additional information refer to AB-024.

PACKAGING INFORMATION

ORDERABLE DEVICE	STATUS(1)	PACKAGE TYPE	PACKAGE DRAWING	PINS	PACKAGE QTY
ISO122JP	ACTIVE	PDIP	NVF	8	50
ISO122JU	ACTIVE	SOP	DVA	8	28
ISO122JU/1K	ACTIVE	SOP	DVA	8	1000
ISO122P	ACTIVE	PDIP	NVF	8	50
ISO122U	ACTIVE	SOP	DVA	8	28
ISO122U/1K	ACTIVE	SOP	DVA	8	1000

(1) The marketing status values are defined as follows:
ACTIVE: Product device recommended for new designs.
LIFEBUY: TI has announced that the device will be discontinued, and a lifetime-buy period is in effect.
NRND: Not recommended for new designs. Device is in production to support existing customers, but TI does not recommend using this part in a new design.
PREVIEW: Device has been announced but is not in production. Samples may or may not be available.
OBSOLETE: TI has discontinued the production of the device.

Anexo B

MANUAL DE MANTENIMIENTO

1.1 *DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE*

En este proyecto el hardware está compuesto por el acople realizado entre el motor y el sistema de desplazamiento de derivación del autotransformador, además de siete tarjetas[1] y un computador.

Las características de cada tarjeta y el computador son:

- **Tarjeta 1** Contiene las fuentes de alimentación del sistema de control, una fuente de 5 V para la etapa de control, una de 24 V para la etapa de potencia y las necesarias de + 12 V y – 12 V para la etapa de sensado de alta tensión.

- **Tarjeta 2** Sobre ella está el montaje del microcontrolador y del LM629. En esta tarjeta se realiza la interfase entre el computador y el microcontrolador.

- **Tarjeta 3** Maneja directamente la comunicación del motor, es decir, su alimentación, y los dos canales en cuadratura que se obtienen del *encoder*. Su ubicación es dentro de la consola, junto al acople mecánico entre el motor y el eje.

- **Tarjeta 4** Sobre ella está implementado el aislamiento entre los dispositivos, por medio de optoaisladores. Esta tarjeta también contiene el circuito de potencia, pues incluye el puente H y su interfase con el motor y el LM629. Además involucra el sensado de la alarma de sobrecorriente.

- **Tarjeta 5** El control y sensado de los interruptores de alta tensión y enclavamiento de puerta se ensambla sobre esta tarjeta.

---

[1] El anexo B contiene el diseño de las siete tarjetas

- **Tarjeta 6** Para lograr un óptimo funcionamiento del LM629, se debe llevar una señal de inicio de carrera a este dispositivo. Sobre la tarjeta 6 se obtiene esta señal por medio de un optoaislador por interrupción, ubicado cerca al eje de la consola.

- **Tarjeta 7** La realimentación de la tensión obtenida a la salida del divisor óhmico y su interfase con el conversor analógico/digital del microcontrolador.

El computador del laboratorio de alta tensión tiene las siguientes características:

- Microprocesador Pentium III 880MHz
- Disco Duro de 20 GB.
- Monitor 15"
- Drive de 3 ½ 1,44 kB.
- Teclado expandido 106 teclas
- 128 MB. de memoria RAM.

1.2 *DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE DEL SISTEMA DE CONTROL*

A continuación se describe el resultado final del diseño del sistema de control, se muestran los diagramas esquemáticos de la etapa de control y la etapa de potencia, y se realiza un cálculo aproximado de la disipación de potencia del sistema de control.

1.2.1 Diagrama esquemático de la etapa de control

La etapa de control consiste en el conjunto que conforman todos los dispositivos que hacen posible que se envíen los diferentes comandos a la etapa de potencia.

Estos comandos son las órdenes del operario necesarias para cumplir determinada prueba. Se originan desde la aplicación software (LabView 6i) y a través del microcontrolador y del LM629 se ejecutan dichas órdenes.

En la figura 2.16 se observa el diagrama esquemático de la etapa de control, se muestran al MC68HC908SR12 y al LM629. Además de ellos, se encuentra el MAX232, el cual realiza la interfase entre las tensiones que se manejan en el puerto serial del computador, y las tensiones que manejan los dispositivos con tecnología TTL.

Las tres compuertas NAND de tres entradas que incorpora el circuito integrado 74LS10 que se observa en la etapa de control se implementaron de la siguiente manera:

- Debido a que la interrupción IRQ2 del microcontrolador es activa en "bajo", es necesario negar este valor antes, ya que la señal de interrupción del LM629 es activa en "alto".

  Los terminales 3 y 4 del 74LS10 se conectan a 5 V, y el terminal 5 es el que recibe la señal del LM629 (terminal 17). La salida de esta compuerta es el terminal 6 y se conecta a la entrada IRQ2 del microcontrolador.

- Los terminales 9, 10 y 11 son las señales del sensor de presencia, del sensor de sobrecorriente y de la parada de emergencia, respectivamente. El diseño requiere que se ejecute una interrupción cuando cualquiera de estas tres señales se active; las tres señales son activas en "bajo", por esta razón la salida de esta compuerta que es el terminal 8 se niega con la compuerta restante, terminales 1, 2 y 13. La salida total, terminal 12 se conecta a la interrupción IRQ1, la cual es activa también en "bajo".

El controlador LM629 requiere de una señal de reloj entre 1 MHz y 8 MHz para su funcionamiento. En un principio el diseño implicaba que esta

señal se obtenía del microcontrolador, pero las pruebas realizadas dieron un resultado no óptimo de la señal que entregaba el MC68HC908SR12.

Estos resultados se confirman con el boletín de ingeniería EB396/D de Motorola[2], en el cual se direcciona el uso de la salida OSC2 como una señal de entrada de reloj para otros dispositivos, y concluye que no se debe usar esta como una salida de señal de reloj, debido a la inestabilidad y muy baja inmunidad al ambiente de trabajo.

En el mercado se logró conseguir el circuito integrado S13R8 de CONNOR-WINFIELD CORPORATION que entrega una señal de onda cuadrada de 4,096 MHz, el cual se observa en el diagrama de la figura 2.15, este dispositivo es el encargado de generar la señal de reloj para el LM629.

En el diagrama circuital (ver figura 2.15) se muestran las señales que intervienen en la etapa de control. Pueden ser clasificadas como señales de entrada o señales de salida:

---

[2] www.freescale.com/files/microcontrollers/ doc/eng_bulletin/EB396.pdf

Figura 2.15 Circuito Esquemático de la Etapa de Control

Fuente: Diseño de los autores

Señales de entrada de la etapa de control

- RTS (*request to send*): Señal proveniente del computador.

- Recepción: En esta señal viene la información que entrega la aplicación de LabView a la etapa de control.

- Divisor de Tensión: Es el valor de continua que debe interpretar el microcontrolador para entregar el valor que se tiene en alta tensión.

- Sensor del interruptor de enclavamiento de la puerta: Con esta señal se conoce el estado del interruptor de *"door locked"*, si esta señal es "alta", el interruptor de la puerta esta activado (*door locked*), si la señal es un "bajo", el interruptor está desactivado (*door unlocked*).
- Sensor del interruptor de alto voltaje: Con esta señal se conoce el estado del interruptor de alta tensión (HV), si esta señal es "alta", el interruptor de HV está activado, si la señal es un "bajo", el interruptor de HV está desactivado.

- Índice: Para lograr mayor exactitud en el sistema de control, se diseñó un acople con el que se logra un indicador de inicio de posición, es decir, una señal que se active cuando el eje del autotransformador se encuentre en la posición inicial.
  Esta señal es un "bajo" cuando el eje está en su posición inicial, una vez el eje es girado, la señal cambia a un "alto".

- Canales A y B: estas son las dos señales en cuadratura que provienen del *encoder* del motor y son necesarias para el controlador LM629.

- Parada de emergencia, sensor de movimiento: El sistema de control deja abierta la posibilidad de que la universidad adquiera una parada de emergencia acorde con las necesidades de la consola, ya que a través de un conector en la tarjeta de control se encuentran los terminales de entrada de la parada de emergencia, así como los terminales de entrada del sensor de movimiento. El objetivo del sensor, es que la aplicación en software tenga conocimiento de alguna persona antes, durante o después de iniciar alguna prueba. Las dos señales son activas en "bajo".

- Sensor de sobrecorriente: Debido a que el interruptor manual de alto voltaje trae incorporado una protección contra sobrecorriente (mayor a 5 A), es necesario que el sistema de control active una interrupción cuando esto ocurra. La señal es activa en "bajo".

Señales de salida de la etapa de control

- CTS (*clear to send*): Es una señal de control de flujo, por software el microcontrolador le permite o no al computador que realice la transmisión.

- Transmisión: Es la señal que comprende la información que se necesita en la aplicación en el computador.

- PWM signo y PWM magnitud: Son las señales de control que entrega el LM629 y serán interpretadas por el puente H, para ejecutar la posición, la velocidad y la aceleración deseadas en el motor.

- Interruptores de alta tensión y de enclavamiento de la puerta: Con estas dos señales se activan/desactivan desde el computador los interruptores de alta tensión y enclavamiento de puerta.

1.2.2 Diagrama esquemático de la etapa de potencia

El elemento central de la etapa de potencia es el circuito integrado LMD18200, encargado de actuar como puente H y controlar el motor. Además en esta etapa es donde actúan los relés que controlan a los interruptores de la consola (interruptor de alta tensión e interruptor de enclavamiento de puerta) y llegan las señales que sensan el estado de los interruptores y el estado de la protección contra sobrecorriente.

En la figura 2.17 se observa el diagrama esquemático de la etapa de potencia, se muestran el LMD18200, a los relés de control de interruptores, además de los circuitos integrados SFH6700 y 4n36. Con estos dos tipos de optoaisladores se desacopla la etapa de control de la potencia para proteger los integrados de control, ya que éstos no pueden manejar altas corrientes.

Señales de entrada de la etapa de potencia

- PWM signo y PWM magnitud: Son las señales provenientes del LM629. Debido a que estas señales tienen anchos de pulsos de muy corta duración (orden de microsegundos), se utilizó el optoaislador SFH6700, el cual es un aislador de muy alta velocidad, para desacoplar el LM629 del puente H LMD18200.

- Interruptores de alta tensión y enclavamiento de la puerta: Al igual que las anteriores estas señales vienen de la etapa de control, debido a que el microcontrolador MC68HC908SR12 es el encargado de controlar los interruptores. Como se puede observar en la figura 2.15, estas señales Fin de carrera de interruptor de alta tensión: Se utiliza el mismo principio descrito anteriormente, cuando está activado el interruptor de Alto Voltaje, el fin de carrera cambia a su normalidad y la salida del optoaislador es un “alto”.

- Fin de carrera de interruptor de enclavamiento de la puerta: El interruptor de enclavamiento de puerta es un interruptor de tres polos, de los cuales la lógica cableada utiliza dos polos. El tercer polo es normalmente cerrado (NC) y se implementó para sensar el estado del interruptor ejecutando el mismo principio de los fin de carrera anteriores.

Señales de salida de la etapa de potencia

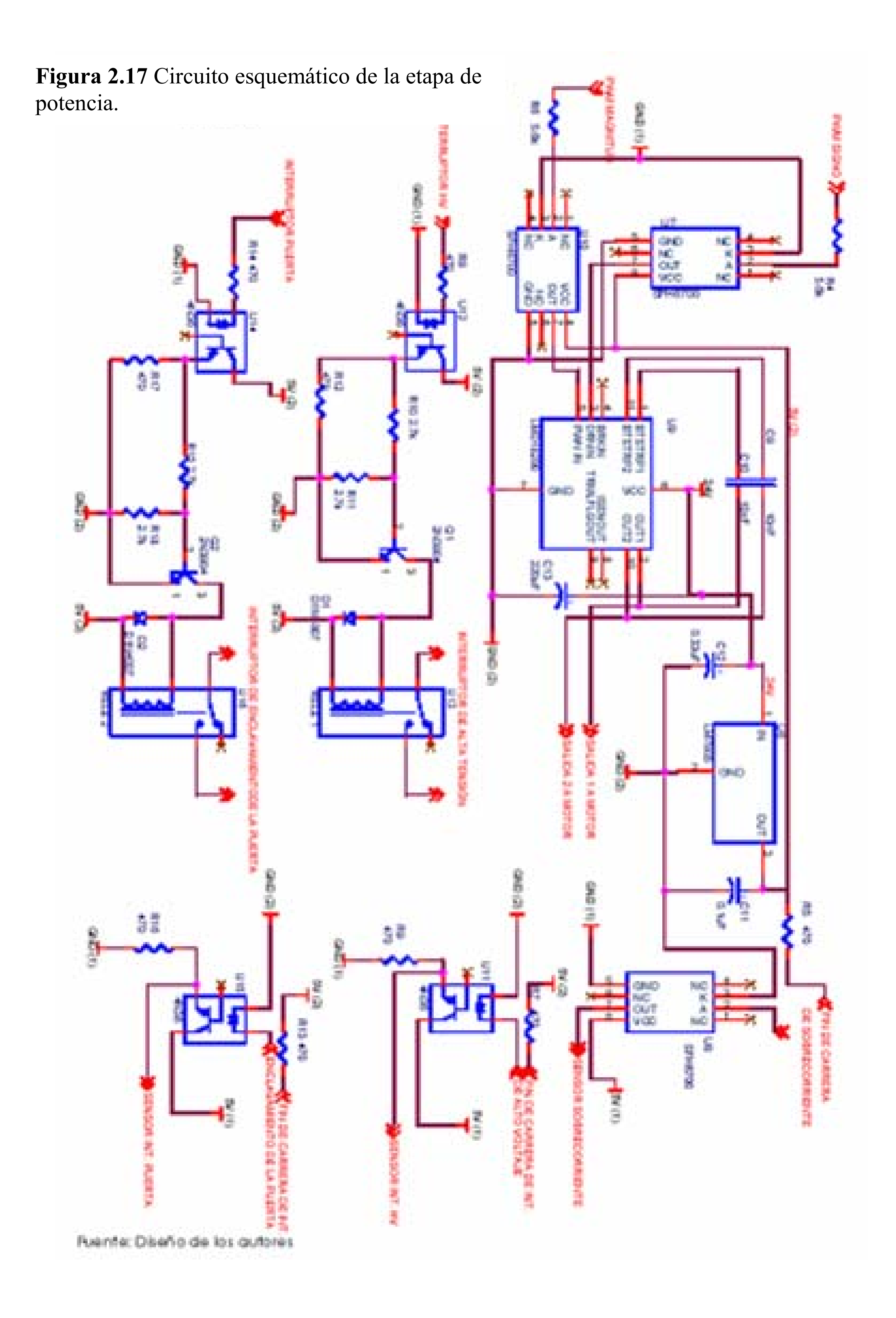
- Interruptor de enclavamiento de la puerta: Son los terminales del interruptor de enclavamiento de puerta y se conectan a los terminales del relé correspondiente (a su contacto normalmente abierto (NO)).

- Interruptor de alto voltaje: Son los terminales del interruptor de alta tensión y se conectan a los terminales del relé que acciona el activamiento de este interruptor (a su contacto normalmente abierto (NO)).

- Salidas a motor 1 y 2: En estas dos señales se encuentra la orden que el puente H LMD18200 le indica al motor con el objeto de cumplir la posición, la velocidad y la aceleración que el controlador LM629 envió a través de las dos señales PWM.

- Sensor de la protección contra sobrecorriente, sensor del interruptor de alta tensión y sensor del interruptor de enclavamiento de la puerta: Las tres señales van a la etapa de control y las tres son las salidas de cada uno de los optoaisladores que desacoplan la fuente de control y de potencia.

Figura 2.17 Circuito esquemático de la etapa de potencia.



Fuente: Diseño de los autores

1.2.3 Disipación de potencia del sistema de control

En los diagramas esquemáticos se muestran además diferentes valores de fuente de alimentación.

En el diagrama de la etapa de control se observa que la fuente de alimentación es de 5 V y se especifica como 5 V (1) y su tierra es GND (1). Esta fuente es la dedicada a alimentar exclusivamente a la etapa de control, al encoder del motor, al optoaislador que entrega la señal del índice, al AD637 y a las etapas de los optoaisladores que están relacionadas con las señales de control.

En la tabla 2.3 se observa el consumo de potencia de la etapa de control. Se realizó implementando los valores máximos de disipación de potencia de cada circuito integrado que interviene en la fuente de 5 V que alimenta esta etapa.

El conjunto de los dispositivos referidos a ésta fuente de alimentación disipan 3,335 W, el regulador LM7805 disipa un máximo de 5 W, luego en condiciones normales la fuente de alimentación no tiene inconvenientes en entregar la corriente necesaria a los dispositivos mencionados anteriormente.

Por otro lado, la fuente de 24 V y GND (2) que se observa en el diagrama de potencia de la figura 2.15, es la que alimenta el puente H LMD18200, es decir es la fuente que alimenta el motor. Por esta fuente puede circular corriente de hasta 2 A y a partir ella se deriva otra fuente de 5 V, usando también el regulador LM7805. Esta fuente se especifica por 5 V (2) y la misma referencia, GND (2). Con los 5 V de esta fuente se alimentan las etapas de los optoaisladores que están relacionadas con las señales de potencia y los relés de activación de los interruptores.

Tabla ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento.**.1 Consumo de potencia de la etapa de control.**

DISPOSITIVO	MÁXIMA DISIPACIÓN DE POTENCIA
MC68HC908SR12	500 mW
LM629	605 mW
MAX232	842 mW
SFH6700*	140 mW
ECG3101	250 mW
S13R8	250 mW
74LS10	40 mW
4N36**	600 mW
AD637	108 mW

*el valor de 140 mW corresponde a los tres circuitos integrados SFH6700 que intervienen en la etapa de control.

**el valor de 600 mW corresponde a los cuatro circuitos integrados 4N36 referidos a la etapa de control.

Fuente: Diseño de los autores

La potencia que el motor requiere la entrega el puente H LMD18200. Si el motor en algún caso extremo (eje bloqueado, devanados del motor en corto) requiere corrientes muy elevadas el LMD18200 tiene unas protecciones (hasta de 10 A) que garantizan que la fuente de alimentación no se vea alterada.

Básicamente, la fuente de alimentación de 5 V que se encuentra referenciada a la etapa de potencia disipa 220 mW debido a los optoaisladores SFH6700, 600 mW que consumen los 4n36 y 100 mW por los relés de accionamiento de los interruptores.

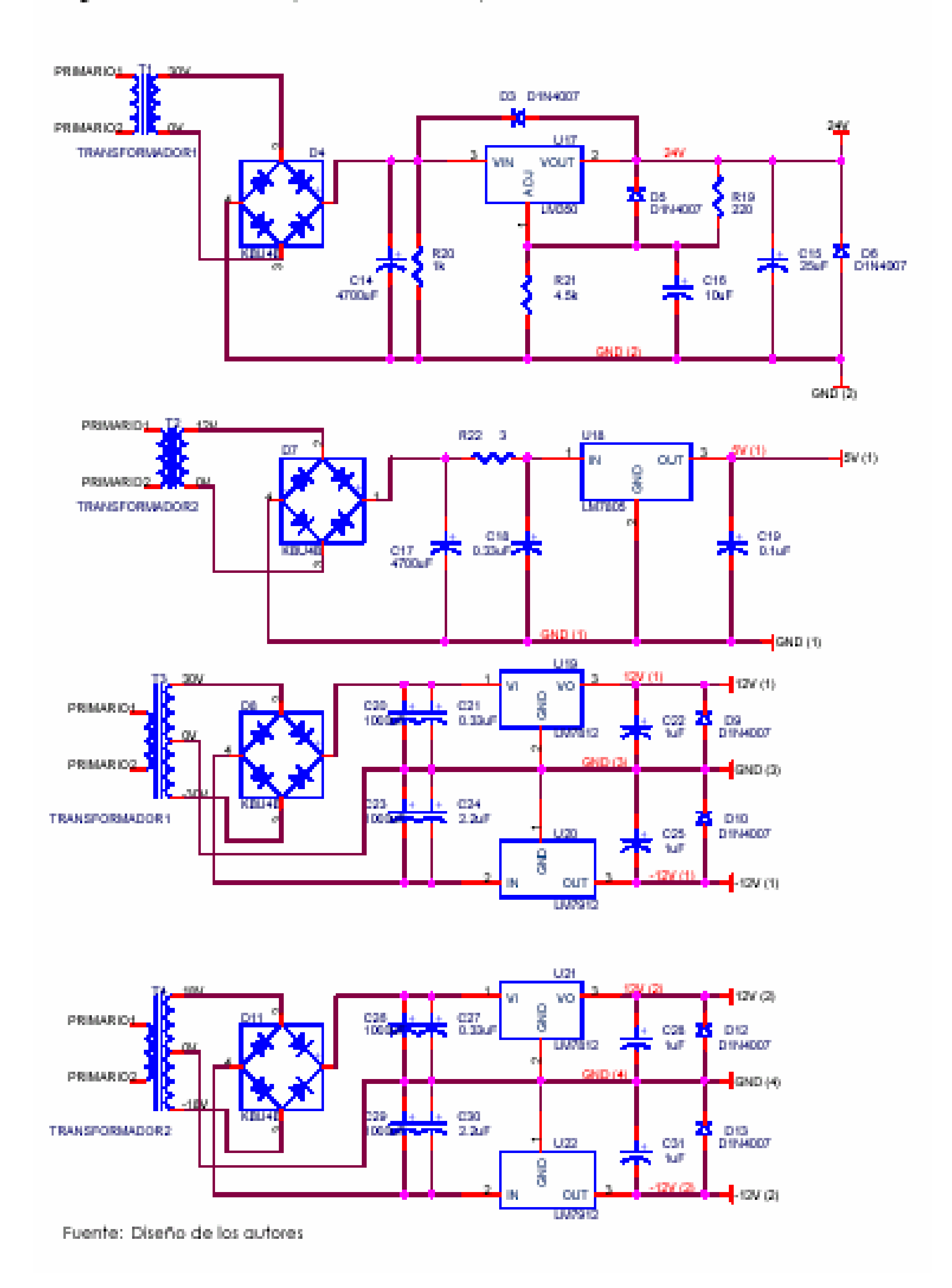
Se tiene que la potencia que consume la carga de esta fuente es del orden de 920 mW, valor que el regulador LM7805 maneja fácilmente.

Esta potencia de 920 mW la debe entregar la fuente de 24 V, que además alimenta al LMD18200, el cual disipa una potencia máxima de 28 W, es decir en total alrededor de 29 W.

El regulador de esta fuente, es el LM350K, el cual tiene la capacidad de disipar hasta 72 W, aunque el transformador con el que se implementó la fuente entrega un máximo de 51 W.

Se concluye que las fuentes de alimentación están desacopladas, sus referencias son diferentes y se protegen los circuitos integrados de control; además se concluye que los transformadores, los reguladores y todo el conjunto que conforman la alimentación del sistema de control implementado están en la capacidad de entregar la potencia que se consume en el sistema.

Figura 2.18 Circuito Esquemático de la Etapa de alimentación



Fuente: Diseño de los autores

1.3 *RESULTADO FINAL DEL SISTEMA DE CONTROL*

En este apartado se explica la distribución de los dispositivos electrónicos sobre cada una de las tarjetas diseñadas, con el fin de identificar algún elemento en particular que requiera mantenimiento, o que requiera ser sustituido por un dispositivo nuevo.

Además se muestran las conexiones entre cada tarjeta, ilustrando la posición de cada cable de conexión del sistema de control, se enumerarán todas estas conexiones y aquellas que son externas a las tarjetas

1.3.1 Distribución espacial de los elementos del sistema de control

Las tarjetas diseñadas se encuentran en el interior de la consola de corriente alterna, sobre una gaveta que se ajustó sobre la parte frontal de la misma.

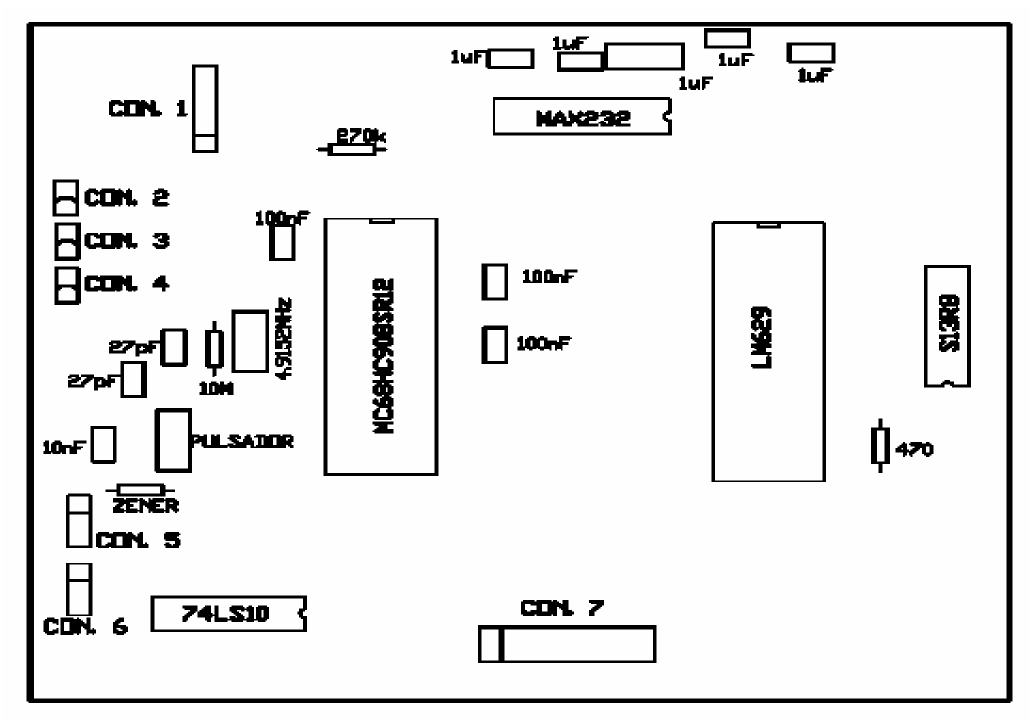
A continuación en las figuras se muestran los esquemas finales de cada una de las tarjetas diseñadas, con todos sus componentes ensamblados, vistas desde la capa de siluetas:

Figura ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento.**.4**
Cc



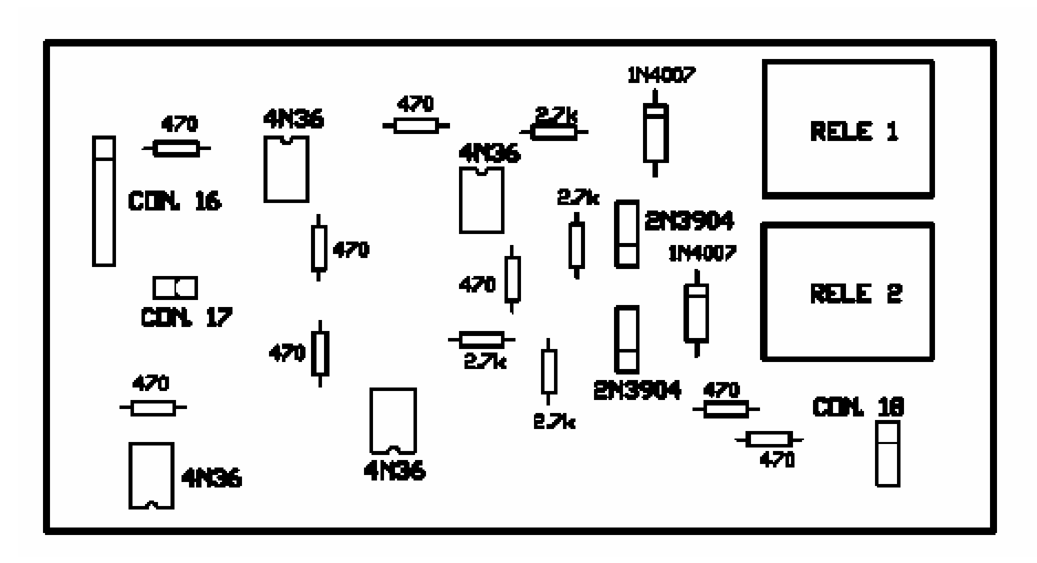
Fuente: Diseño de los autores

Figura ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..**5**
Capa de siluetas de la tarjeta de control



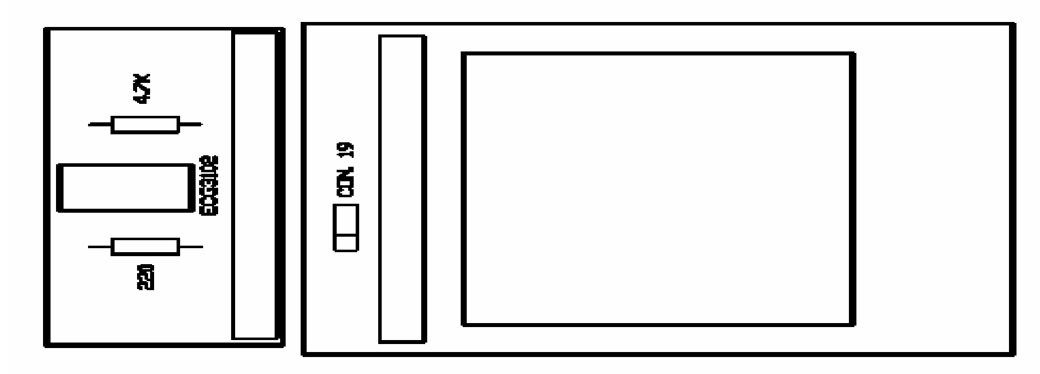
Fuente: Diseño de los autores

Figura ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..**6**
Capa de siluetas de la tarjeta de control y sensado de los interruptores



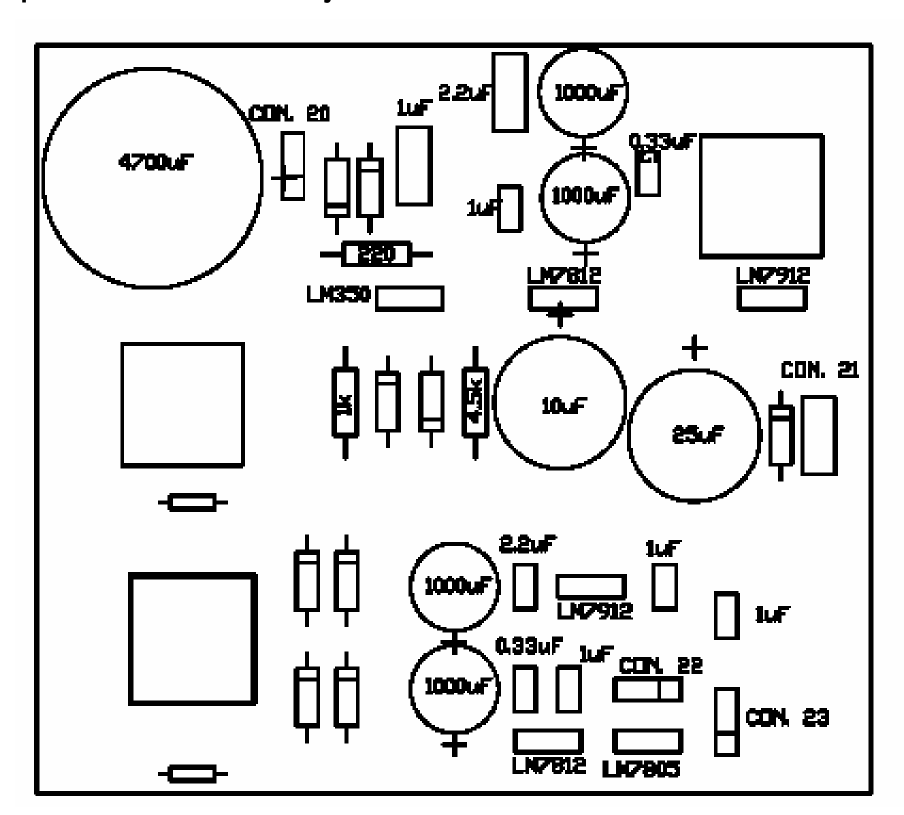
Fuente: Diseño de los autores

Figura ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el



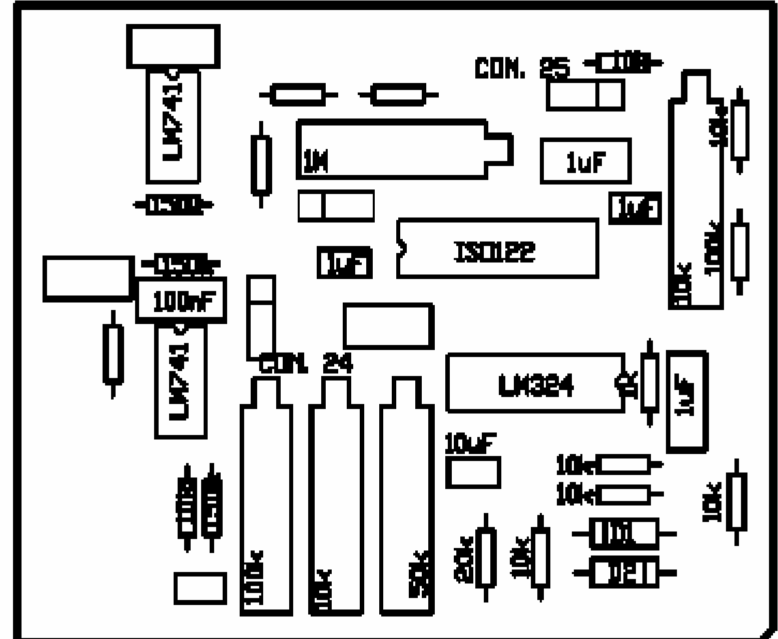
Fuente: Diseño de los autores

Figura ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento.**.8 Capa de siluetas de la tarjeta fuente de alimentación**



Fuente: Diseño de los autores

Figura ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento.**.9 Cap**



Diseño de los autores

1.3.2 Conexión entre las tarjetas

A continuación se describen las conexiones entre cada tarjeta, ilustrando la posición de cada cable de conexión del sistema de control, se enumerarán todas estas conexiones y aquellas que son externas a las tarjetas

CON. 1: Se conecta al puerto serial del computador, de la siguiente manera:

- **TERMINAL 1** señal CTS
- **TERMINAL 2** señal RTS

- **TERMINAL 3** señal de tierra del computador
- **TERMINAL 4** señal de transmisión del computador
- **TERMINAL 5** señal de recepción del computador

Los conectores 2, 3 y 4 son los canales del conversor analógico/ digital del microcontrolador MC68HC908SR12 que están disponibles para su implementación, ya que el proyecto deja abierta la posibilidad de sensar más variables analógicas

CON. 2:

- **TERMINAL 1** señal analógica que se desea sensar
- **TERMINAL 2** tierra del sistema de control

CON. 3:

- **TERMINAL 1** tierra del sistema de control
- **TERMINAL 2** señal analógica que se desea sensar

CON. 4:

- **TERMINAL 1** señal analógica que se desea sensar
- **TERMINAL 2** tierra del sistema de control

CON. 5: En este conector se implementa la parada de emergencia que el laboratorio de alta tensión le puede añadir al sistema de control. Si esta señal es un “bajo” el sistema apaga la consola y sólo se podrá iniciar una prueba hasta que retorne a un “alto”. Actualmente esta señal se deja conectada a +5 V a través de un *JUMPER*, para que el sistema de control pueda iniciar

- **TERMINAL 1** tierra del sistema de control

- **TERMINAL 2** señal parada de emergencia
- **TERMINAL 3** señal de +5 V de la etapa de control

CON. 6: Si se desea que en el laboratorio se instale un sensor de movimiento, que indique si se encuentra una persona en el momento de la ejecución de una prueba, este sensor se adaptaría al conector 6. Al igual que el anterior, es activo en "bajo". A través de un *JUMPER* esta señal se mantiene en "alto"

- **TERMINAL 1** tierra del sistema de control
- **TERMINAL 2** señal del sensor de movimiento
- **TERMINAL 3** señal de +5 V de la etapa de control

CON. 7: Este es un conector de dos filas, a través del cual se interconectan las tarjetas de control y de potencia. El hilo rojo del conector, terminal 1, se toma como referencia y por el otro extremo de la correa se conecta al terminal 1 del conector 10.

CON. 8: Alimentación de la etapa de potencia, a este conector se conecta la fuente de alimentación de + 24 V, se acopla al conector 21:

- **TERMINAL 1** tierra de la fuente de 24 V. (cable de color azul)
- **TERMINAL 2** no conectar
- **TERMINAL 3** señal de + 24 V (cable de color blanco)

CON. 9: Es la interfase hacia al motor de CD que hace girar el eje del autotransformador. Comprende las fases del motor, la alimentación del *ENCODER* y las señales en cuadratura de los canales del *ENCODER:*

- **TERMINAL 1** no conectar
- **TERMINAL 2** salida 1 al motor
- **TERMINAL 3** no conectar
- **TERMINAL 4** no conectar

- **TERMINAL 5** tierra del sistema de control (alimentación del *ENCODER*)
- **TERMINAL 6** canal A en cuadratura del *ENCODER*
- **TERMINAL 7** canal A en cuadratura del *ENCODER*
- **TERMINAL 8** señal de +5 V (alimentación del *ENCODER*)
- **TERMINAL 9** no conectar
- **TERMINAL 10** no conectar
- **TERMINAL 11** salida 2 al motor
- **TERMINAL 12** no conectar

CON. 10: Se acopla al conector 7, de tal forma que para el terminal 1 se toma como referencia el hilo rojo de la correa

CON. 11: Alimentación de la etapa de control, a este conector se conecta la fuente de alimentación de + 5 V.

- **TERMINAL 1** señal de +5 V (cable de color blanco)
- **TERMINAL 2** tierra de la fuente de 24 V (cable de color azul)

CON. 12: Corresponde a la señal del índice, proviene del acople que se diseñó para obtener una indicación de la posición inicial del eje del autotransformador. Se acopla al conector 19:

- **TERMINAL 1** tierra del sistema de control
- **TERMINAL 2** señal de +5 V del sistema de control
- **TERMINAL 3** señal índice

CON. 13: En este conector se aplica la fuente de +5 V que se obtiene en la etapa de potencia, para la alimentación de los opotoaisladores que intervienen en el control y sensado de los interruptores. Este conector se acopla al conector 17

- **TERMINAL 1** tierra de la etapa de potencia (cable azul)

- **TERMINAL 2** +5 V (cable blanco)

CON. 14: En este conector se lleva la información de control y senado de los interruptores, se acopla con el conector 16

- **TERMINAL 1** es la señal de accionamiento del interruptor de alto voltaje
- **TERMINAL 2** es la señal de accionamiento del interruptor de enclavamiento de puerta
- **TERMINAL 3** es la señal del sensor del interruptor de enclavamiento de puerta
- **TERMINAL 4** es la señal del sensor del interruptor de alto voltaje
- **TERMINAL 5** tierra del sistema de control
- **TERMINAL 6** señal de +5 V del sistema de control

CON. 15: Información del sistema de accionamiento por sobrecorriente, es decir, a través de este conector se conoce el estado de la protección de sobrecorriente que posee el interruptor de alto voltaje:

- **TERMINAL 1** tierra del sistema de potencia
- **TERMINAL 2** proviene del terminal 2 del fin de carrera acoplado para que brinde la bandera de sobrecorriente.

CON. 16: Se acopla con el conector 14

CON. 17: Se acopla con el conector 13

CON. 18: Son las señales que provienen de los fines de carrera que indican el estado de los interruptores

- **TERMINAL 1** señal de +5 V de la etapa de potencia, este terminal se conecta al terminal 1 del interruptor de enclavamiento de puerta, se conecta al terminal 1 del fin de carrera de interruptor de

alta tensión y al terminal 1 del fin de carrera para la bandera de sobrecorriente.

- **TERMINAL 2** indica si el interruptor de alta tensión está accionado. Proviene del terminal 2 del fin de carrera acoplado para el sensado de este interruptor
- **TERMINAL 3** indica si el interruptor de enclavamiento de la puerta está accionado. Proviene del terminal 2 del interruptor de enclavamiento de la puerta

CON. 19: Se encuentra en la tarjeta implementada en el acople realizado para obtener la señal índice. Se acopla al conector 12

CON. 20: Corresponde a la fuente de alimentación de la etapa de entrada del aislador ISO122, se acopla con el conector 24

- **Terminal 1** Señal de -12 V
- **Terminal 2** Señal de +12 V
- **Terminal 3** Señal de referencia de la etapa de entrada del ISO122

CON. 21: A través de este conector se alimenta la etapa de potencia, su valor es de +24 V y se acopla al conector 8.

CON. 22: Corresponde a la fuente de alimentación de la etapa de salida del aislador ISO122 y se acopla con el conector 25.

- **Terminal 1** Señal de -12 V
- **Terminal 2** Señal de +12 V
- **Terminal 3** Señal de referencia de la etapa de entrada del ISO122

CON. 23: La fuente de alimentación de la etapa de control se obtiene de este conector, se acopla al conector 11

CON. 24: Es la etapa de entrada aislador ISO122, se acopla con el conector 20

CON. 25: Es la etapa de salida del aislador ISO122, se acopla con el conector 22

1.3.3 Conexiones externas a las tarjetas

Son las conexiones que van desde la red de tensión alterna, pasando por los transformadores y que van hasta la consola.

Al igual que los conectores descritos anteriormente, los cables correspondientes a estas conexiones se encuentran marcados para facilitar la identificación de los mismos:

F: Previamente se conectó una de las fases de entrada a la consola de corriente alterna a un fusible de 5 A, ubicado sobre la marca con la letra E de la consola. El otro terminal del fusible se conecta a este cable llamado **F**, el cual llega al primario de los transformadores.

N: Se toma la entrada neutro de la consola y se conecta al terminal restante del primario de los transformadores a través del cable marcado con la letra **N**

Con los dos cables anteriores se realiza la conexión de alimentación del primario de los dos transformadores y se toman 110 V de corriente alterna que se obtienen entre una fase y el neutro que está a la entrada de la consola de corriente alterna.

T1-1: Es uno de los cables del secundario del transformador 1, implementado para proporcionar la señal de + 24 V, que se encarga de alimentar la etapa de potencia

T1-2: Es el complemento del anterior para generar la fuente de + 24 V

T2-1: Es uno de los cables del secundario del transformador 2, implementado para proporcionar la señal de + 5 V, para la alimentación de la etapa de control

T2-2: Es el complemento del anterior para generar la fuente de + 5 V.

Anexo C

MANUAL DEL USUARIO CONSOLA VIRTUAL

Este documento tiene como objeto ilustrar al operador de la consola virtual acerca de cada uno de los elementos y de las características de la aplicación desarrollada para controlar la consola de corriente alterna ubicada en el laboratorio de alta tensión.

El sistema variador regula la velocidad del motor para ajustarla a las ratas de crecimiento de tensión deseadas en una prueba determinada. La interfase con el usuario es lo que denominamos consola virtual y en ella se controla la ejecución y se introducen los parámetros de la prueba.

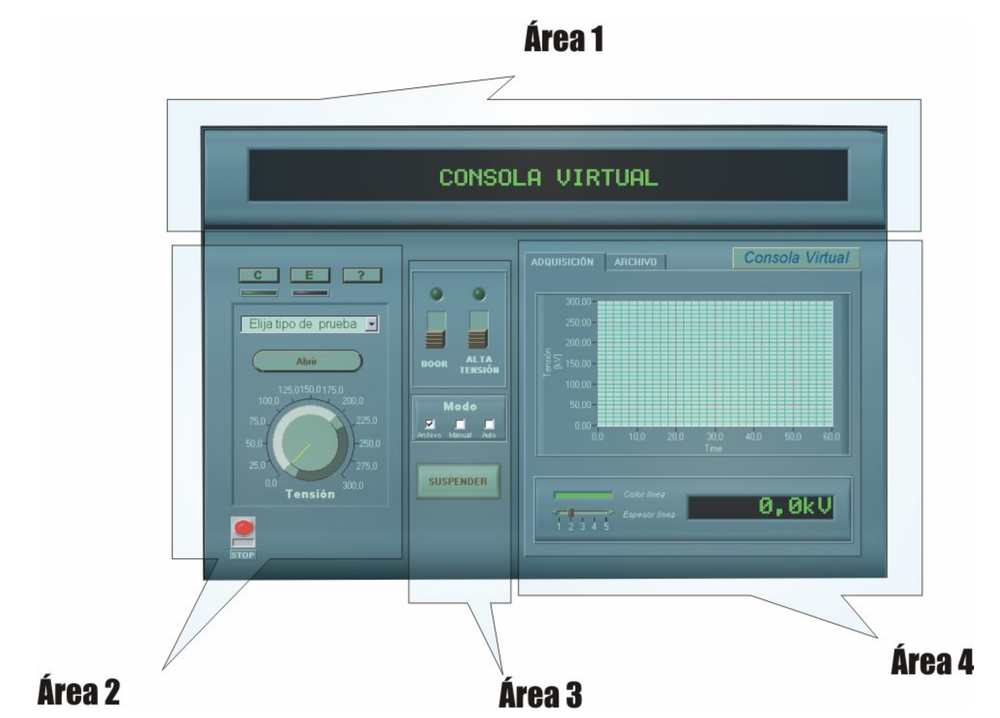
La consola virtual opera en tres modos diferentes que se describen en los apartados de este manual, en el cual también se presenta la descripción de cada uno de los elementos que la constituyen.

1. DESCRIPCIÓN GENERAL

La consola virtual presenta en su panel frontal una pantalla que ilustra al operador sobre los diversos procesos que se desarrollan en ella. En su parte izquierda se alojan controles que operan según el modo activado. En la parte derecha se presentan los datos recaudados de forma grafica así como elementos que permitan un mayor detalle de los mismos. La activación de los interruptores que permiten la puesta en marcha del sistema se encuentran en el medio y su activación es regulada según el modo de operación.

En la figura 1.1 se ilustra el panel frontal de la consola virtual el cual se subdivide en cuatro áreas.

Figura 1.1 Áreas constitutivas de la consola virtual



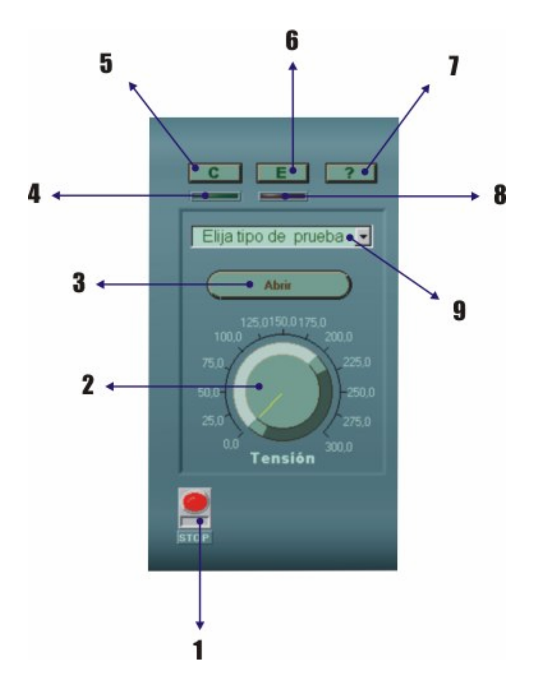
1.1 ÁREA 1

El área 1 es una pantalla donde el operador puede observar mensajes que indican tanto el punto de ejecución dentro de una prueba como las acciones esperadas por la aplicación para continuar la ejecución en curso. Por defecto en esta pantalla al iniciar la aplicación se observa *"consola virtual"*

1.2 ÁREA 2

En la parte inferior izquierda se encuentran controles que cambian según el modo de operación de la consola virtual y que para efectos didácticos se ha denominado área 2. Por defecto la consola virtual presenta los controles como se observan en la figura 1.2, sin embargo, cuando se opera en modo automático los controles 2 y 3, que se observan en la figura 1.2, desaparecen y en su lugar se colocarán los controles de los parámetros pertinentes al tipo de prueba elegido.

Figura 1.2 Área 2 en modo archivo



1. **Control de ejecución**. Activando este pulsador se apaga totalmente la operación de la consola virtual.

2. **Control de tensión manual.** Este control funciona exclusivamente cuando la consola se encuentra en *"MODO MANUAL"* e indica el valor de tensión observado en el transformador de alta tensión idealmente (en vació)[1].

3. **Abrir.** Este interruptor tiene función exclusiva en el *"MODO ARCHIVO"* y con el se solicita la apertura de una tabla de datos recopilados en una prueba anterior.

4. **Led de carga.** Este indicador se enciende cuando en una prueba se ha efectuado una carga de parámetros exitosa.

5. **Carga.** Este control inicia la carga de los parámetros actuales del panel de la consola como los pertinentes para la prueba en proceso.

6. **Ejecutar.** Con este control se da inicio a la prueba programada por el operador.

7. **Ayuda.** Es el control que solicita la apertura del archivo de ayuda de la consola virtual.

8. **Led de ejecución.** Indica la ejecución de la prueba programada por el operador.

---

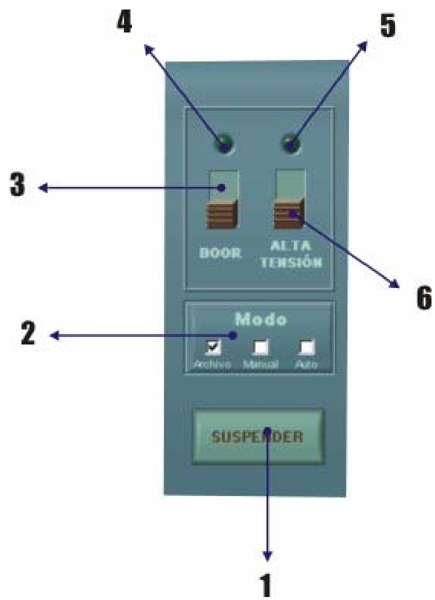
[1] La tensión observada real se presenta gráficamente en la pantalla 2, en el área 4

9. **Tipo de prueba.** Esta ventana se despliega para elegir entre los tres tipos de pruebas realizables mediante la aplicación. Este control es exclusivo del *"MODO AUTO"*.

1.3 ÁREA 3

En el área 3 se encuentra el control del enclavamiento de la puerta y energización de la consola junto con los indicadores que sensan el estado real del correspondiente interruptor.

Figura 1.3 Área 3



1. **Suspender**. Este control suspende la operación manual o automática y la retorna al modo archivo.

2. **Modos.** Estos controles son mutuamente excluyentes e indican el modo de operación en que se encuentra la consola. Están

activos en el modo archivo y en el modo manual, sin embargo, cuando se entra en operación automática son deshabilitados y solo pueden ser cambiados luego de la suspensión de la prueba en curso.

3. **Door**. Este control ordena el enclavamiento o no de la puerta que aísla la sala de control con la sala de ensayos del laboratorio.

4. **Led Door.** Este indicador visualiza la normalidad del interruptor de enclavamiento de la puerta.

5. **Led Alta Tensión.** Este indicador visualiza la normalidad del interruptor de alta tensión.

6. **Alta Tensión.** Este control ordena la normalidad del interruptor de alta tensión de la consola de alterna.

1.4 ÁREA 4

El área 4 es el lugar donde se despliega gráficamente la información recaudada ya sea en el conversor analógico digital o desde un archivo cargado. Los detalles de las herramientas para el análisis de la información se explican en las secciones de los modos de operación correspondiente.

2.MODO AUTOMÁTICO

En modo automático la consola virtual ofrece tres tipos básicos con los que se pueden programar las pruebas normalizadas u otras con fines de investigación.

Para iniciar la ejecución en este modo basta con activar la casilla de verificación "*Auto*", en el menú de modos que se encuentra en el área 3 del panel frontal de la consola virtual.

Cuando se activa el modo auto los modos restantes se colocan en cero y el menú modos se desactiva. Los controles 2 y 3 en la figura 1.2 desaparecen y en la pantalla se le indica al operador que debe elegir un tipo de prueba para continuar. Una vez elegido el tipo de prueba aparecerán en el panel los controles correspondientes a los parámetros necesarios para la ejecución del tipo de prueba indicado.

NOTA: Para cambiar de modo en cualquier momento durante la ejecución es preciso activar el botón suspender. Automáticamente se cambiará al modo archivo y se suspenderá la ejecución en curso. En este punto se puede indicar el modo deseado.

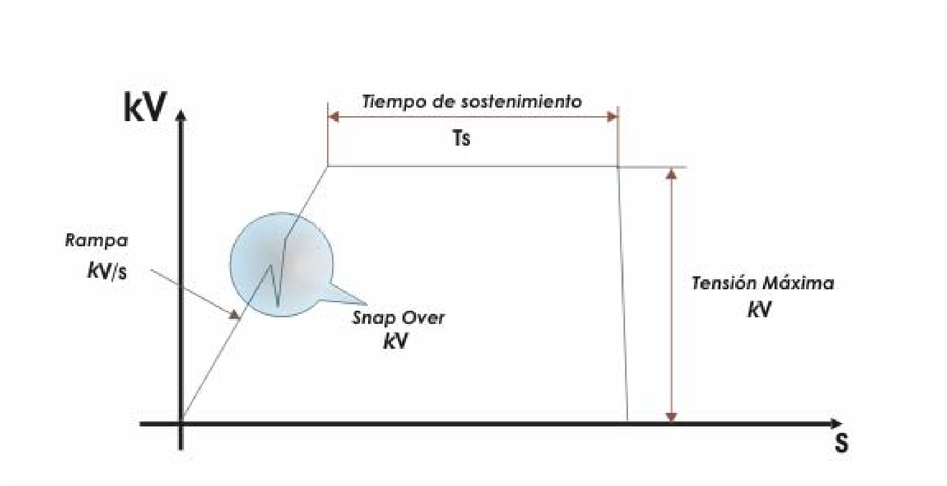
2.1 PRUEBA TIPO RAMPA

Es la prueba básica y consiste en aumentar a una razón constante la tensión, hasta un valor máximo que se sostiene por un tiempo determinado por el operador y finalmente se retorna a cero.

2.1.1 PARÁMETROS

En la figura 2.1 se observan los parámetros de este tipo de prueba. Adicional a estos parámetros existe la posibilidad de ejecutar una segunda rampa, luego de alcanzar un porcentaje (determinado por el operador) de la tensión máxima.

Figura 2.1 Tipo rampa



Los parámetros de este tipo de prueba se colocan en los controles que aparecen para tal fin en el área inferior izquierda de la consola virtual. En la figura 2.2 se muestran los controles para esta prueba.

Figura 2.2 Controles parámetros de la prueba tipo rampa.



La prueba inicia con un mensaje de advertencia para el operador sobre la secuencia de inicio y previene sobre el cierre de la puerta si se observan personas en la sala de pruebas del laboratorio de alta tensión.

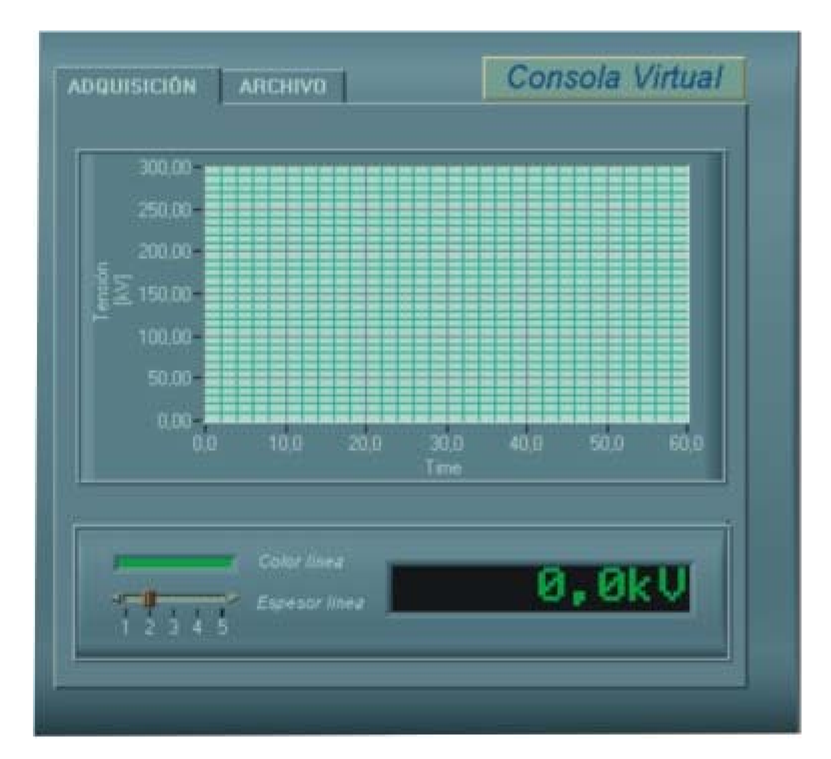
La secuencia de inicio impone la obligatoriedad de enclavar la puerta y enseguida energizar la consola. Si no se cumple con la secuencia, la consola no permite la carga de los parámetros y desactiva los interruptores que se activen fuera de la secuencia. A lo largo de esta operación la pantalla principal ofrece mensajes del paso adecuado.

Cuando se ha energizado el sistema, la consola virtual, verifica la coherencia de los interruptores con los controles en el panel principal. Luego de las verificaciones previas, la pantalla principal presentará el mensaje "*Introduzca parámetros de la prueba*". En este punto de operación se espera que el operador adecue los controles de los parámetros según la prueba a ejecutar. Cuando los parámetros se hayan ajustado se debe activar el control de carga de parámetros que se caracteriza por el botón "C" identificado con el número 5 en la figura 1.2. Se encenderá el led indicador de carga que se encuentra bajo el botón y que se identifica en la figura 1.2 con el número 4. Una vez cargados los parámetros el operador puede ejecutar en cualquier momento el botón identificado con la letra "E" (número 6 en la figura 1.2) para dar inicio a la prueba programada. Desde este momento hasta que termine, la consola recibirá y presentará información sobre la tensión observada en la sonda conectada al divisor óhmico.

2.1.2 VISUALIZACIÓN

En el modo auto la visualización se hace en el fichero adquisición en el área 4.

Figura 2.3 Área 4 en modo auto



Los datos son graficados y el valor instantáneo se coloca en la pantalla bajo la grafica. Se incluyen dos controles para el color y espesor de la línea ubicados en la esquina inferior izquierda del fichero "*adquisición*".

2.1.3 SUSPENSIÓN DE LA PRUEBA.

En el transcurso de la prueba se pueden presentar rupturas del aislamiento o fenómenos eléctricos que podrían subir la corriente; en estas circunstancias el sistema tiene protecciones que impiden que se continué con la ejecución de la prueba.

Es causal de finalización un rompimiento parcial superior al *"snap over"* cargado por el operador o un bloqueo del eje del autotransformador.

La parada de emergencia si es obturada o se mantiene activada al momento del inicio de la prueba impide la ejecución del ensayo.

Si en cualquier evento se pierde la comunicación con el PC el sistema físico se resetea y cualquier operación en curso se suspenderá.

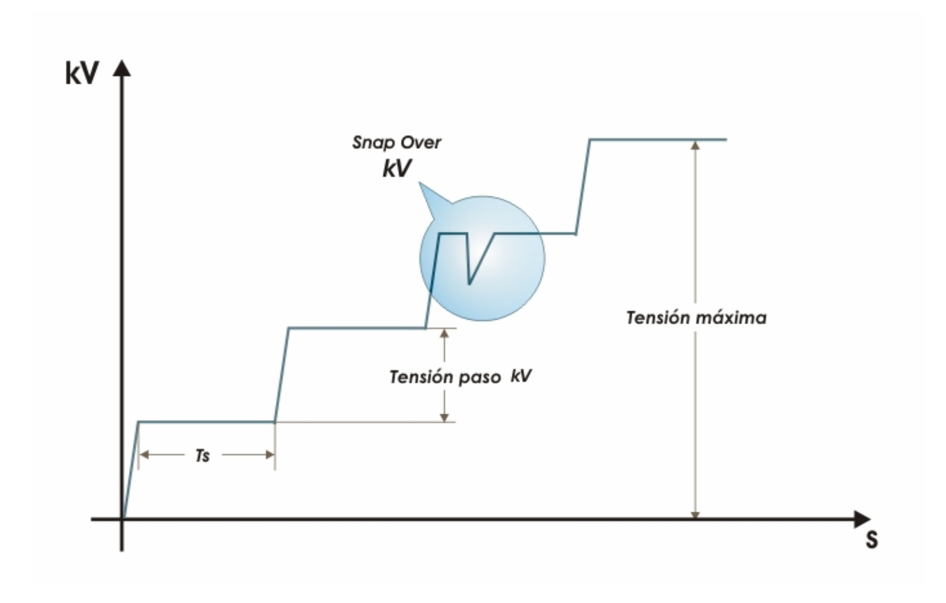
La suspensión voluntaria del operador desde la aplicación de la consola virtual se realiza a través de los botones *"stop"* o "*Suspender*".

Cuando se finaliza la prueba, la consola virtual emite un mensaje para que el operador decida guardar o no los datos recaudados en la ejecución anterior.

2.2 PRUEBA TIPO PASOS

Esta prueba toma cuatro parámetros de entrada que generan una trayectoria similar a la observada en la figura 2.4. Los parámetros de entrada son equivalentes a los enumerados en el apartado anterior salvo la tensión de paso que es característica particular de esta prueba y que se refiere a la variación de tensión entre pasos consecutivos. El tiempo de sostenimiento se refiere a la duración estacionaria del eje en la posición del paso un tiempo específico dado en segundos, luego del cual el eje se moverá nuevamente hasta alcanzar la tensión del siguiente paso. El "*snap over*" sigue consecuentemente siendo un rango de tolerancia a las caídas de tensión.

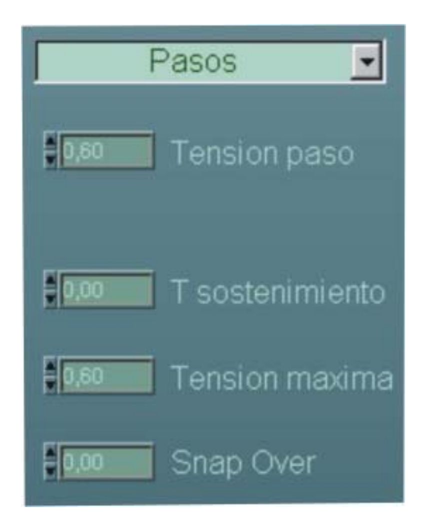
Figura 2.4 Prueba tipo pasos



2.2.1 PARÁMETROS

En la figura 2.4 se observan los parámetros de este tipo de prueba. En este caso los parámetros de rampa, desaparecen y se observa, la aparición del parámetro tensión de paso en su lugar.

Figura 2.5 Controles parámetros de la prueba Tipo pasos



Los parámetros de este tipo de prueba se colocan en los controles que aparecen en el área inferior izquierda de la consola virtual. En la figura 2.5 se muestran los controles para esta prueba.

La prueba inicia con un mensaje de advertencia para el operador sobre la secuencia de inicio y previene sobre el cierre ó no de la puerta si se observan personas en la sala de ensayos del laboratorio de alta tensión.

La secuencia de inicio impone la obligatoriedad de enclavar la puerta y enseguida energizar la consola tal y como se hace en la

prueba del tipo rampa. A lo largo de esta operación la pantalla principal ofrece mensajes que ilustran el punto de ejecución.

Cuando se ha energizado el sistema, la consola virtual, verifica la coherencia de los interruptores con los controles en el panel principal. Luego de las verificaciones previas, la pantalla principal presentará el mensaje "*Introduzca parámetros de la prueba*". En este punto de operación se espera que el operador adecue los controles de los parámetros de acuerdo a la prueba a ejecutar. Cuando los parámetros se hayan ajustado se debe activar el control de carga de parámetros que se caracteriza por el botón "C" identificado con el número 5 en la figura 1.2. Se encenderá el led indicador de carga que se encuentra bajo el botón y que se identifica en la figura 1.2 con el número 4. Una vez cargados los parámetros el operador puede accionar el botón identificado con la letra "E" (numero 6 en la figura 1.2) para dar inicio a la prueba programada. Desde este momento hasta que termine, la consola recibirá y presentará información sobre la tensión observada en la sonda conectada al divisor óhmico.

2.2.2 VISUALIZACIÓN

En el modo automático la visualización se hace en el fichero adquisición en el área 4 por lo que los datos al igual que en el tipo rampa serán visualizados a través de la interfase grafica en este fichero.

2.2.3 SUSPENSIÓN DE LA PRUEBA.

Las causales de suspensión son iguales a las previstas para el tipo rampa y se mencionan para facilitar al operador su comprensión.

En el transcurso de la prueba se pueden presentar rupturas del aislamiento o fenómenos eléctricos que podrían elevar la corriente fuera de los rangos de tolerancia del transformador; en estas circunstancias el sistema tiene protecciones que impiden que se continué con la ejecución.

Es causal de finalización un rompimiento parcial superior al "*snap over*" cargado por el operador o un bloqueo del eje del autotransformador.

La parada de emergencia si es obturada o se mantiene activada al momento del inicio de la prueba impide la ejecución.

Si en cualquier evento se pierde la comunicación con el PC el sistema físico se resetea y cualquier operación en curso se suspenderá.

La suspensión voluntaria del operador desde la aplicación de la consola virtual se realiza a través de los botones "*stop*" o "*Suspender*".

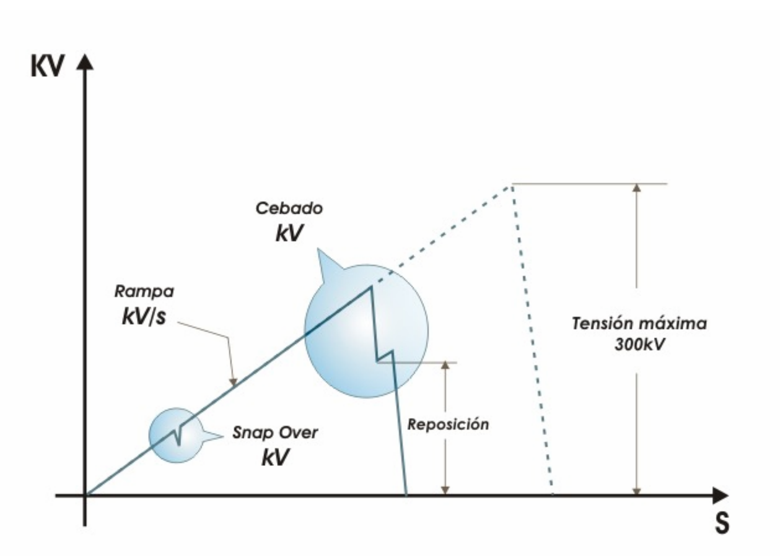
Cuando se finaliza la prueba, la consola virtual emite un mensaje para que el operador decida guardar o no los datos recaudados en la ejecución anterior.

2.3 PRUEBA TIPO CEBADO

El cebado corresponde al punto donde la condición aislante de los elementos de un pararrayos de SiC se pierde y entra en conducción. Para encontrar el punto en el que un pararrayos de SiC se ceba, la prueba prevee aumentar a una rata constante la tensión y esperar la aparición de una caída de tensión superior al "*snap over*". Cuando el pararrayos esté cebado el programa de la consola invierte el sentido de giro del motor y comienza un retroceso hasta que se detecte una tensión de reposición[2] con la que finaliza la prueba.



Figura 2.6 Prueba tipo cebado



[2] *REPOSICIÓN:* restauración de las condiciones aislantes de los elementos del pararrayos

2.3.1 PARÁMETROS

En la figura 2.6 se observan los parámetros de este tipo de prueba. En este caso los parámetros de tiempo, tensión máxima y de paso, desaparecen y se observan solamente los controles de rampa y "*snap over*" activos.

Figura 2.7 Controles parámetros de la prueba Tipo cebado



Los parámetros de este tipo de prueba se colocan en los controles que aparecen en el área inferior izquierda de la consola virtual. En la figura 2.7 se muestran los controles para esta prueba.

La prueba inicia con un mensaje de advertencia para el operador sobre la secuencia de inicio y previene sobre el cierre o no de la puerta si se observan personas en el salón de alta tensión.

La secuencia de inicio impone la obligatoriedad de enclavar la puerta y energizar la consola tal y como se hace en el tipo rampa.

A lo largo de esta operación la pantalla principal ofrece mensajes con los que ilustra el procedimiento adecuado.

Cuando se ha energizado el sistema, la consola virtual, verifica la coherencia de los interruptores con los controles en el panel principal. Luego de las verificaciones previas, la pantalla principal presentará el mensaje "*Introduzca parámetros de la prueba*". En este punto de operación se espera que el operador adecue los controles de los parámetros de acuerdo con la prueba a ejecutar. Cuando los parámetros se hayan ajustado se debe activar el control de carga de parámetros que se caracteriza por el botón "C" identificado con el número 5 en la figura 1.2. Se encenderá el led indicador de carga que se encuentra bajo el botón y que se identifica en la figura 1.2 con el número 4. Una vez cargados los parámetros el operador puede ejecutar en cualquier momento el botón identificado con la letra "E" (número 6 en la figura 1.2) para dar inicio a la prueba programada. Desde este momento hasta que termine, la consola, recibirá y presentará información sobre la tensión observada en la sonda conectada al divisor óhmico.

2.3.2 VISUALIZACIÓN

En el modo automático la visualización se hace en el fichero adquisición en el área 4 por lo que los datos al igual que en el tipo rampa serán visualizados a través de la interfase grafica en este fichero.

2.3.3 SUSPENSIÓN DE LA PRUEBA.

Las causales de suspensión son iguales a las previstas para el tipo rampa y se mencionan para facilitar al operador su comprensión.

En el transcurso de la prueba se pueden presentar rupturas del aislamiento o fenómenos eléctricos que podrían elevar la corriente fuera del margen admisible; en estas circunstancias el sistema tiene protecciones que impiden que se continué con la ejecución.

Es causal de finalización un rompimiento parcial superior al *"snap over"* cargado por el operador o un bloqueo del eje del autotransformador.

La parada de emergencia si es obturada o se mantiene activada al momento del inicio de la prueba impide la ejecución.

Si en cualquier evento se pierde la comunicación con el PC el sistema físico se resetea y cualquier operación en curso se suspenderá.

La suspensión voluntaria del operador desde la aplicación de la consola virtual se realiza a través de los botones *"stop"* o "*Suspender*".

Cuando se finaliza la prueba, la consola virtual emite un mensaje para que el operador decida si guardar o no los datos recaudados en la ejecución anterior.

3.MODO MANUAL

El modo manual dentro de la consola virtual consiste en una ubicación directa del eje en una posición determinada por el usuario, a través del movimiento del control de perilla discriminado con el número 2 en el área 2 (ver figura 1.2). Usando este control el operador puede generar variaciones según su parecer o valores únicos de tensión a los que se quiere someter un objeto a prueba, dentro de las prestaciones que ofrece el equipo.

3.1 DESCRIPCIÓN

Figura 3.1 Control de posición.



En la figura 3.1 se observa el control que indica la tensión en vació de la posición en la que se ubica el eje del autotransformador. Esta posición puede ser variada por el operador y el sistema físico corregirá la posición para ubicarse según la orden referida.

Para entrar en modo manual se debe activar la casilla de verificación del modo, ubicado en el área 3, esto iniciará el modo manual y la pantalla principal mostrará el mensaje "*Modo Manual*". Una vez activo el modo de operación el sistema cargará los parámetros automáticamente y sensará la tensión observada. El operador del sistema podrá efectuar cambios a la tensión. La tensión será sensada permanentemente y su valor instantáneo se presentará gráficamente y en la pantalla inferior derecha del fichero adquisición.

3.2 SUSPENSIÓN DE LA PRUEBA.

Las causales de suspensión son iguales a las previstas para el modo automático y se mencionan a continuación.

En el transcurso de la prueba se pueden presentar rupturas del aislamiento o fenómenos eléctricos que podrían subir la corriente; en estas circunstancias el sistema tiene protecciones que impiden que se continué con la ejecución.

La parada de emergencia si es obturada o se mantiene activada al momento del inicio de la prueba impide la ejecución.

Si en cualquier evento se pierde la comunicación con el PC el sistema físico se resetea y cualquier operación en curso se suspenderá.

La suspensión voluntaria del operador desde la aplicación de la consola virtual se realiza a través de los botones *"stop"* o "*Suspender*".

4.MODO ARCHIVO

El modo archivo es el modo funcional por defecto, al iniciar la aplicación la consola virtual inicia en este modo permitiendo al operador la elección del modo.

Este modo tiene como objeto permitir la visualización de resultados de pruebas anteriores desde archivos.

4.1 DESCRIPCIÓN

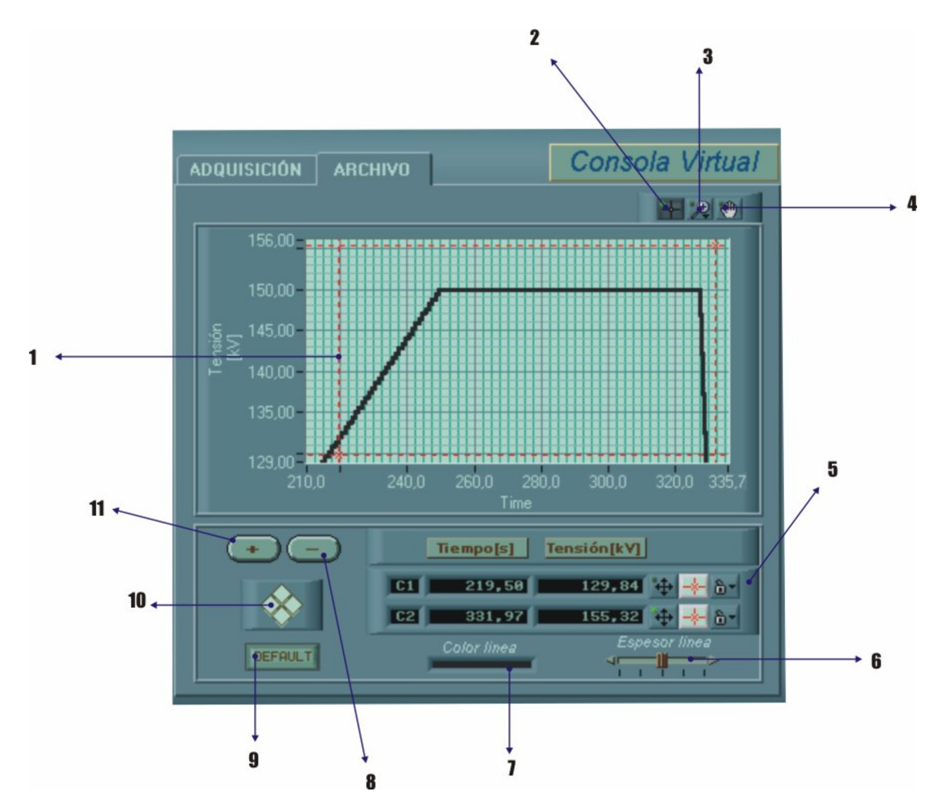
Una vez activado el campo correspondiente al "*modo Archivo*" se puede iniciar con la carga de una prueba guardada, para lo cual es preciso obturar el botón denominado "Abrir" en el panel frontal de la consola virtual. Este control se ubica en el área 2 y esta identificado con el número 3 en la figura 1.2.

Cuando se activa el control "*abrir*" se despliega un cuadro de diálogo para la elección del archivo que se desea visualizar. Una vez cargado, el fichero "Archivo" se activará dejando ver gráficamente en el área 4 los datos correspondientes al archivo cargado.

4.2 VISUALIZACIÓN

Para la visualización de archivos la consola virtual se ubica automáticamente en el fichero archivo que permite el uso de herramientas de *"zoom"* para el análisis de los datos, además se dispone de cursores y las herramientas básicas para el cambio de color y espesor de la línea en la grafica.

Figura 4.1 Fichero Archivo.



En la figura 4.1 se observa el fichero archivo utilizado para la visualización de datos de pruebas anteriores. Los elementos constitutivos de este se enumeran a continuación de acuerdo con el número relacionado en la figura 4.1.

1. **Cursor.** Líneas guía que se utilizan para centrar el objetivo de un "zoom in".

2. **Graph palette.** Herramienta de LabView 6i que activa la operación del *mouse* para las líneas cursores.

3. **Graph palette.** Herramienta de LabView 6i que activa la operación del *mouse* para "*zoom*" sobre la selección.

4. **Graph palette.** Herramienta de LabView 6i que activa la operación del *mouse* para desplazamiento (x, y).

5. **Cursor legend.** Indica el cursor activo y el valor que toma tanto en el tiempo como en tensión. Las herramientas a la derecha de este permiten la activación o desactivación del movimiento del cursor así como el cambio de color, tipo y otras de esta misma índole[3].

6. **Espesor.** Esta herramienta permite cambiar el espesor de la línea de la grafica entre 5 valores.

7. **Color.** Con este control se puede variar el color de la línea de trazo entre las muestras de la grafica.

8. **Zoom out.** Esta herramienta permite retomar las dimensiones graficas anteriores hasta el valor por defecto; punto en el cual se desactiva.

---

[3] Para más información al respecto remítase al Manual de usuario de LabView 6i.

9. **Default.** Activando este control se carga el archivo con las dimensiones necesarias para visualizar todas las muestras guardadas.

10. **Cursor mover.** Herramienta de LabView 6i para mover los cursores activos dentro del plano de la grafica.

11. **Zoom in.** Esta herramienta permite redimensionar la grafica a los valores contenidos en el área interna de los cursores. Los cursores son mapeados para obtener una nueva posición en el nuevo rango de valores de la grafica.

4.3 SUSPENSIÓN DEL MODO ARCHIVO.

La suspensión del modo se hace por el cambio en la ficha de visualización o por la activación de un modo distinto de operación como por ejemplo el modo automático.

El botón suspender se encuentra inactivo en este punto mientras que el botón "stop" suspende la ejecución de la aplicación.

FIGURAS

CONTENIDO

Anexo D

LM628 Programming Guide

National Semiconductor
Application Note 693
Steven Hunt
January 1999



Introduction

The LM628/LM629 are dedicated motion control processors. Both devices control DC and brushless DC servo motors, as well as, other servomechanisms that provide a quadrature incremental feedback signal. Block diagrams of typical LM628/LM629-based motor control systems are shown in *Figures 1, 2*.

As indicated in the figures, the LM628/LM629 are bus peripherals; both devices must be programmed by a host processor. This application note is intended to present a concrete starting point for programmers of these precision motion controllers. It focuses on the development of short programs that test overall system functionality and lay the groundwork for more complex programs. It also presents a method for tuning the loop-compensation PID filter. (Note 1)

Reference System

Figure 15 is a detailed schematic of a closed-loop motor control system. All programs presented in this paper were developed using this system. For application of the programs in other LM628-based systems, changes in basic programming structure are not required, but modification of filter coefficients and trajectory parameters may be required.

I. Program Modules

Breaking programs for the LM628 into sets of functional blocks simplifies the programming process; each block executes a specific task. This section contains examples of the principal building blocks (modules) of programs for the LM628.

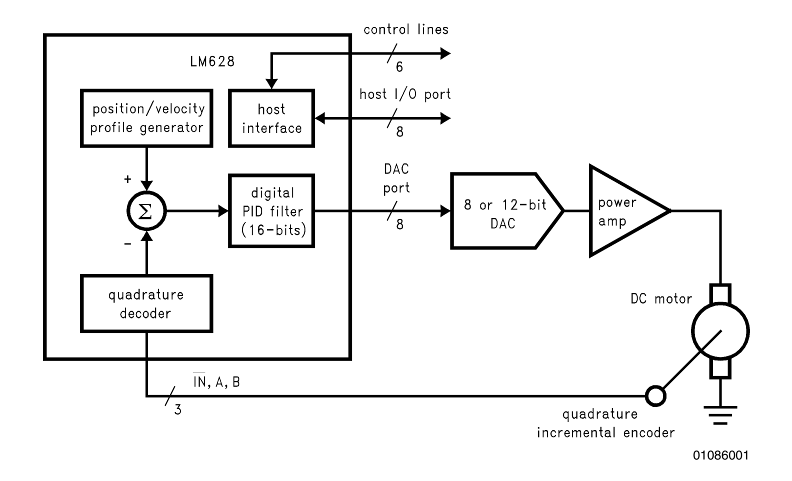


FIGURE 1. LM628-Based Motor Control System

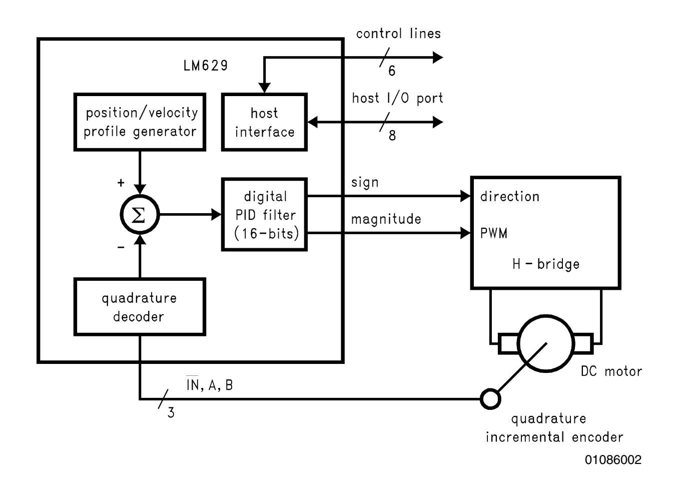


FIGURE 2. LM629-Based Motor Control System

Note 1: For the remainder of this paper, all statements about the LM628 also apply to the LM629 unless otherwise noted.

I. Program Modules (Continued)

BUSY-BIT CHECK MODULE

The first module required for successful programming of the LM628 is a busy-bit check module.

The busy-bit, bit zero of the status byte, is set immediately after the host writes a command byte, or reads or writes the second byte of a data word. See *Figure 5*. While the busy-bit is set, the LM628 will ignore any commands or attempts to transfer data.

A busy-bit check module that polls the Status Byte and waits until the busy-bit is reset will ensure successful host/LM628 communications. ***It must be inserted after a command write, or a read or write of the second byte of a data word.*** *Figure 3* represents such a busy-bit check module. This module will be used throughout subsequent modules and programs.

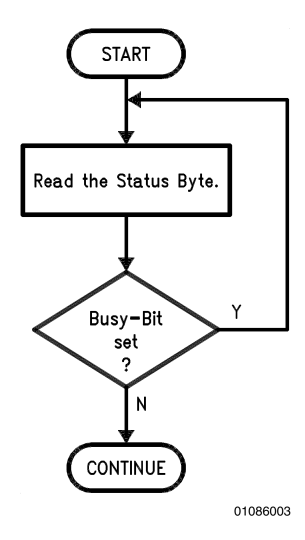


FIGURE 3. Busy-bit Check Module

Reading the Status Byte is accomplished by executing a RDSTAT command. RDSTAT is directly supported by LM628 hardware and is executed by pulling $\overline{CS}$, $\overline{PS}$, and $\overline{RD}$ logic low.

INITIALIZATION MODULE

In general, an initialization module contains a reset command and other initialization, interrupt control, and data reporting commands.

The example initialization module, detailed in *Table 1*, contains a hardware reset block and a PORT 12 command.

Hardware Reset Block

Immediately following power-up, a hardware reset ***must*** *be* executed. Hardware reset is initiated by strobing $\overline{RST}$ (pin 27) logic low for *a* ***minimum of eight LM628 clock periods.***

The reset routine begins after $\overline{RST}$ is returned to logic high. During the reset execution time, **1.5 ms** maximum, the LM628 will ignore any commands or attempts to transfer data.

A hardware reset forces the LM628 into the state described in what follows.

1. The derivative sampling coefficient, d_S, is set to one, and all other filter coefficients and filter coefficient input buffers are set to zero. With d_S set to one, the derivative sampling interval is set to $2048/f_{CLK}$.
2. All trajectory parameters and trajectory parameters input buffers are set to zero.
3. The current absolute position of the shaft is set to zero (“home”).
4. The breakpoint interrupt is masked (disabled), and the remaining five interrupts are unmasked (enabled).
5. The position error threshold is set to its maximum value, 7FFF hex.
6. The DAC output port is set for an 8-bit DAC interface.

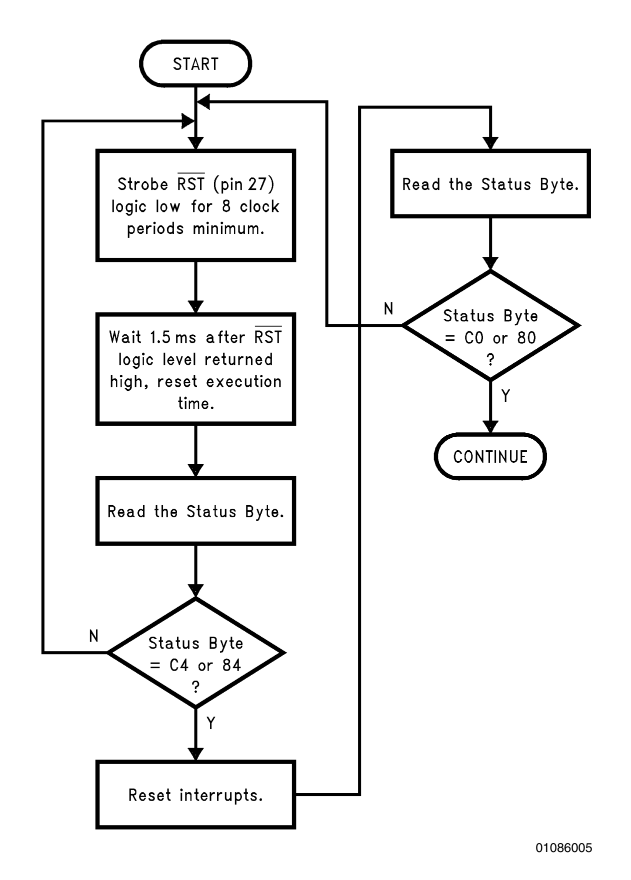


FIGURE 4. Hardware Reset Block

Figure 4 illustrates a hardware reset block that includes an LM628 functionality test. This test *should be* completed immediately following all hardware resets.

I. Program Modules (Continued)

Reset Interrupts

TABLE 1. Initialization Module (with Hardware Reset)

Port	Bytes	Command	Comments
	(Note 5)	hardware reset	Strobe $\overline{RST}$, pin 27, logic low for eight clock periods minimum.
		wait	The maximum time to complete hardware reset tasks is 1.5 ms. During this reset execution time, the LM628 will ignore any commands or attempts to transfer data.
c (Note 2)	xx (Note 3)	RDSTAT	This command reads the status byte. It is directly supported by LM628 hardware and can be executed at any time by pulling $\overline{CS}$, $\overline{PS}$, and $\overline{RD}$ logic low. Status information remains valid as long as $\overline{RD}$ is logic low.
		decision	If the status byte is C4 hex or 84 hex, continue. Otherwise loop back to hardware reset.
c	1D	RSTI	This command resets *only* the interrupts indicated by zeros in bits one through six of the next data word. It also resets bit fifteen of the Signals Register and the host interrupt output pin (pin 17).
Busy-bit Check Module			
d	xx	HB (Note 4)	don't care
d	00	LB	Zeros in bits one through six indicate *all* interrupts will be reset.
Busy-bit Check Module			
c	xx	RDSTAT	This command reads the status byte.
		decision	If the status byte is C0 hex or 80 hex, continue. Otherwise loop back to hardware reset.
c	06	PORT12	The reset default size of the DAC port is eight bits. This command initializes the DAC port for a 12-bit DAC. It should not be issued in systems with an 8-bit DAC.
Busy-bit Check Module			

Note 2: The 8-bit host I/O port is a dual-mode port; it operates in command or data mode. The logic level at $\overline{PS}$ (pin 16) selects the mode. Port c represents the LM628 command port-commands are written to the command port and the Status Byte is read from the command port. A logic level of "0" at $\overline{PS}$ selects the command port. Port d represents the LM628 data port — data is both written to and read from the data port. A logic level of "1" at $\overline{PS}$ selects the data port.

Note 3: x - don't care

Note 4: HB - high byte, LB - low byte

Note 5: All values represented in hex.

An RSTI command sequence allows the user to reset the interrupt flag bits, bits one through six of the status byte. See *Figure 5*. It contains an RSTI command and one data word.

The RSTI command initiates resetting the interrupt flag bits. Command RSTI also resets the host interrupt output pin (pin 17).

7 6 5 4 3 2 1 0

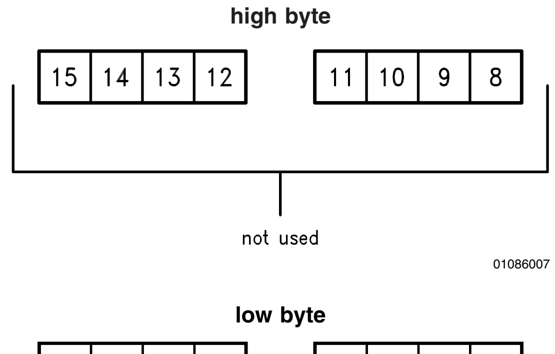
Motor off
Breakpoint Reached (Interrupt)
Excessive Position Error (Interrupt)
Wrap-around Occurred (Interrupt)
Index Pulse Observed (Interrupt)
Trajectory Complete (Interrupt)
Command Error (Interrupt)
Busy-bit

01086006

FIGURE 5. Status Byte Bit Allocation

Immediately following the RSTI command, a single data word is written. The first byte is not used. Logical zeros in bits one through six of the second byte reset the corresponding interrupts. See *Figure 6*. Any combination of the interrupt flag bits can be reset within a single RSTI command sequence. This feature allows interrupts to be serviced according to a user-programmed priority.

I. Program Modules (Continued)



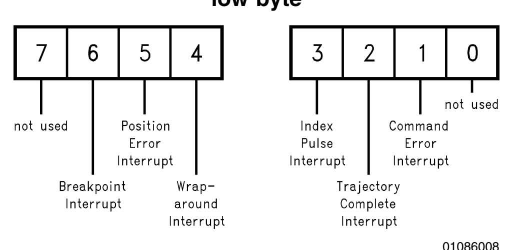


FIGURE 6. Interrupt Mask/Reset Bit Allocations

In the case of the example module, the second byte of the RSTI data word, 00 hex, resets *all* interrupt flag bits. See *Table 1*.

DAC Port Size

During both hardware and software resets, the DAC output port defaults to 8-bit mode. If an LM628 control loop utilizes a 12-bit DAC, command PORT12 should be issued immediately following the hardware reset block and all subsequent resets. Failure to issue command PORT12 will result in erratic, unpredictable motor behavior.

If the control loop utilizes an 8-bit DAC, command PORT12 must not be executed; this too will result in erratic, unpredictable motor behavior.

An LM629 will ignore command PORT8 (as it provides an 8-bit sign/magnitude PWM output). Command PORT12 *should not* be issued in LM629-based systems.

Software Reset Considerations

After the initial hardware reset, resets can be accomplished with either a hardware reset or command RESET (software reset). Software and hardware resets execute the same tasks (Note 6) and require the same execution time, 1.5 ms maximum. During software reset execution, the LM628 will ignore any commands or attempts to transfer data.

The hardware reset module includes an LM628 functionality test. This test is ***not*** required after a software reset.

Table 2 details an initialization module that uses a software reset.

Note 6: In the case of a software reset, the position error threshold remains at its pre-reset value.

TABLE 2. Initialization Module (with Software Reset)

Port	Bytes	Command	Comments
c	00	RESET	See Initialization Module text.
		wait	The maximum time to complete RESET tasks is 1.5 ms.
c	06	PORT12	The RESET default size of the DAC port is eight bits. This command initializes the DAC port for a 12-bit DAC. It should not be issued in a system with an 8-bit DAC.
Busy-bit Check Module			
c	1D	RSTI	This command resets *only* the interrupts indicated by zeros in bits one through six of the next data word. It also resets bit fifteen of the Signals Register and (pin 17) the host interrupt output pin.
Busy-bit Check Module			
d	xx	HB	Don't care
d	00	LB	Zeros in bits one through six indicate *all* interrupts will be reset.
Busy-bit Check Module			

Comments

Figure 7 illustrates, in simplified block diagram form, the LM628. The profile generator provides the control loop input, desired shaft position. The quadrature decoder provides the control loop feedback signal, actual shaft position. At the first summing junction, actual position is subtracted from desired position to generate the control loop error signal, position error. This error signal is filtered by the PID filter to provide the motor drive signal.

After executing the example initialization module, the following observations are made. With the integration limit term (i_L) and the filter gain coefficients (k_p, k_i, and k_d) initialized to zero, the filter gain is zero. Moreover, after a reset, desired shaft position tracks actual shaft position. Under these conditions, the motor drive signal is zero. The control system can not affect shaft position. The shaft should be stationary and "free wheeling". If there is significant drive amplifier offset, the shaft may rotate slowly, but with minimal torque capability.

Note: Regardless of the free wheeling state of the shaft, the LM628 continuously tracks shaft absolute position.

I. Program Modules (Continued)

FILTER PROGRAMMING MODULE

The example filter programming module is shown in *Table 4*.

Load Filter Parameters (Coefficients)

An LFIL (Load FILter) command sequence includes command LFIL, a filter control word, and a variable number of data words.

The LFIL command initiates loading filter coefficients into input buffers.

The two data bytes, written immediately after LFIL, comprise the filter control word. The first byte programs the derivative sampling coefficient, d_s (i.e. selects the derivative sampling interval). The second byte indicates, with logical ones in respective bit positions, which of the remaining four filter coefficients will be loaded. See *Figure 8*,*Table 3*. Any combination of the four coefficients can be loaded within a single LFIL command sequence.

Immediately following the filter control word, the filter coefficients are written. Each coefficient is written as a pair of data bytes, a data word. Because any combination of the four coefficients can be loaded within a single LFIL command sequence, the number of data words following the filter control word can vary in the range from zero to four.

In the case of the example module, the first byte of the filter control word, 00 hex, programs a derivative sampling coefficient of one. The second byte, x8 hex, indicates only the proportional gain coefficient will be loaded.

Immediately following the filter control word, the proportional gain coefficent is written. In this example, k_p is set to ten with the data word 000A hex. The other three filter coefficients remain at zero, their reset value.

Update Filter

The update filter command, UDF, transfers new filter coefficients from input buffers to working registers. Until UDF is executed, the new filter coefficients do not affect the transfer characteristic of the filter.

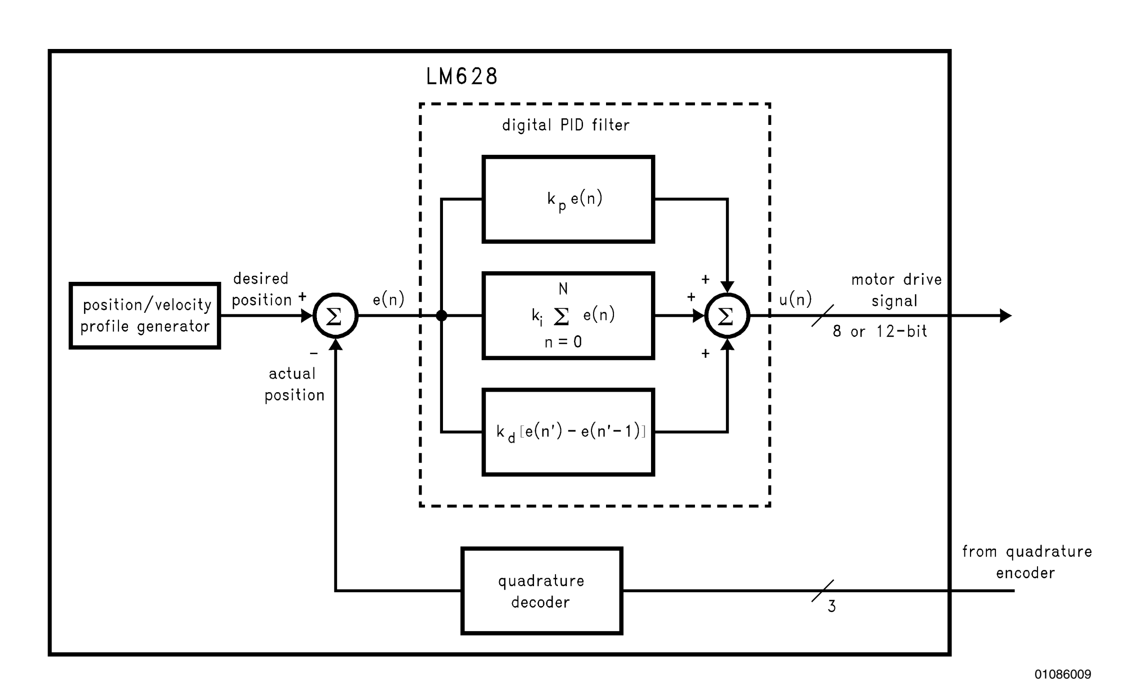


FIGURE 7. LM628 — Simplified Block Diagram Form

I. Program Modules (Continued)

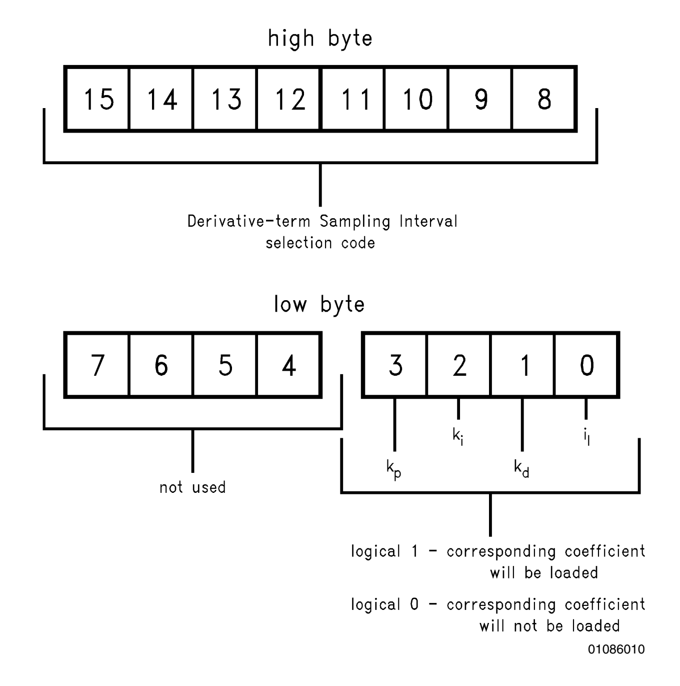


FIGURE 8. Filter Control Word Bit Allocation

TABLE 3. Derivative—Term Sampling Interval Selection Codes

Filter Control Word Bit Position								d_s	Selected Derivative-Term Sampling Interval—T_d
15	14	13	12	11	10	9	8		
0	0	0	0	0	0	0	0	1	T_s
0	0	0	0	0	0	0	1	2	$2T_s$
0	0	0	0	0	0	1	0	3	$3T_s$
0	0	0	0	0	0	1	1	4	$4T_s$
			•					•	•
			•					•	•
			•					•	•
1	1	1	1	1	1	1	1	256	$256T_s$

$T_s = (2048) \times \left(\frac{1}{f_{CLK}}\right)$ System Sample Period

$T_d = d_s \times T_s$ Derivative-term Sampling Interval

I. Program Modules (Continued)

TABLE 4. Filter Programming Module

Port	Bytes	Command	Comments
c	1E	LFIL	This command initiates loading the filter coefficients input buffers.
Busy-bit Check Module			
d d	00 x8	HB LB	These two bytes are the filter control word. A 00 hex HB sets the derivative sampling interval to $2048/f_{CLK}$ by setting d_s to one. A x8 hex LB indicates only k_p will be loaded. The other filter parameters will remain at zero, their reset default value.
Busy-bit Check Module			
d d	00 0A	HB LB	These two bytes set k_p to ten.
Busy-bit Check Module			
c	04	UDF	This command transfers new filter coefficients from input buffers to working registers. Until UDF is executed, coefficients loaded via the LFIL command do not affect the filter transfer characteristic.
Busy-bit Check Module			

Comments

After executing both the example initialization and example filter programming modules, the following observations are made. Filter gain is nonzero, but desired shaft position continues to track actual shaft position. Under these conditions, the motor drive signal remains at zero. The shaft should be stationary and "free wheeling". If there is significant drive amplifier offset, the shaft may rotate slowly, but with minimal torque capability.

Initially, k_p should be set below twenty, d_s should be set to one, and k_i, k_d, and i_l should remain at zero. These values will not provide optimum system performance, but they will be sufficient to test system functionality. See Tuning the PID Filter.

TRAJECTORY PROGRAMMING MODULE

Table 5 details the example trajectory programming module.

Load Trajectory Parameters

An LTRJ (Load TRaJectory) command sequence includes command LTRJ, a trajectory control word, and a variable number of data words.

The LTRJ command initiates loading trajectory parameters into input buffers.

The two data bytes, written immediately after LTRJ, comprise the trajectory control word. The first byte programs, with logical ones in respective bit positions, the trajectory mode (velocity or position), velocity mode direction, and stopping mode. See Stop Module. The second byte indicates, with logical ones in respective bit positions, which of the three trajectory parameters will be loaded. It also indicates whether the parameters are absolute or relative. See *Figure 9*. Any combination of the three parameters can be loaded within a single LTRJ command sequence.

Immediately following the trajectory control word, the trajectory parameters are written. Each parameter is written as a pair of data words (four data bytes). Because any combination of the three parameters can be loaded within a single LTRJ command sequence, the number of data words following the trajectory control word can vary in the range from zero to six.

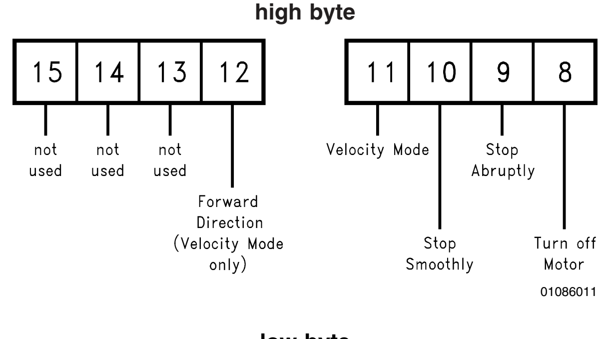
In the case of the example module, the first byte of the trajectory control word, 00 hex, programs the LM628 to operate in position mode. The second byte, 0A hex, indicates velocity and position will be loaded and both parameters are absolute. Four data words, two for each parameter loaded, follow the trajectory control word.

Start Motion Control

The start motion control command, STT (STarT), transfers new trajectory parameters from input buffers to working registers and begins execution of the new trajectory. Until STT is executed, the new trajectory parameters do not affect shaft motion.

Note: At this point no actual trajectory parameters are loaded. Calculation of trajectory parameters and execution of example moves is left for a later section.

high byte



low byte

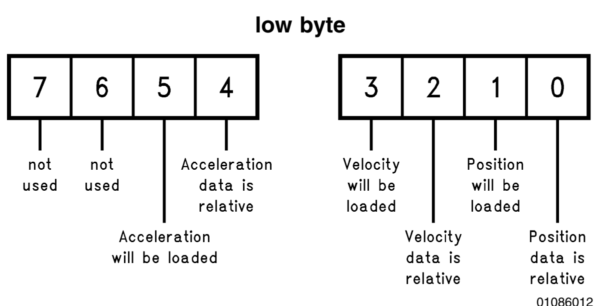


FIGURE 9. Trajectory Control Word Bit Allocation

I. Program Modules (Continued)

TABLE 5. Trajectory Programming Module

Port	Bytes	Command	Comments
c	1F	LTRJ	This command initiates loading the trajectory parameters input buffers.
Busy-bit Check Module			
d d	00 0A	HB LB	These two bytes are the trajectory control word. A 0A hex LB indicates velocity and position will be loaded and both parameters are absolute.
Busy-bit Check Module			
d d	xx xx	HB LB	Velocity is loaded in two data words. These two bytes are the high data word.
Busy-bit Check Module			
d d	xx xx	HB LB	velocity data word (low)
Busy-bit Check Module			
d d	xx xx	HB LB	Position is loaded in two data words. These two bytes are the high data word.
Busy-bit Check Module			
d d	xx xx	HB LB	position data word (low)
Busy-bit Check Module			
c	01	STT	STT must be issued to execute the desired trajectory.
Busy-bit Check Module			

STOP MODULE

This module demonstrates the programming flow required to stop shaft motion.

While the LM628 operates in position mode, normal stopping is always smooth and occurs automatically at the end of a specified trajectory (i.e. no stop module is required). Under exceptional conditions, however, a stop module can be used to affect a premature stop.

While the LM628 operates in velocity mode, stopping is always accomplished via a stop module.

The example stop module, shown in *Table 5*, utilizes an LTRJ command sequence and an STT command.

Load Trajectory Parameters

Bits eight through ten of the trajectory control word select the stopping mode. See *Figure 9*.

In the case of the example module, the first byte of the trajectory control word, x1 hex, selects motor-off as the desired stopping mode. This mode stops shaft motion by setting the motor drive signal to zero (the appropriate offset-binary code to apply zero drive to the motor).

Setting bit nine of the trajectory control word selects stop abruptly as the desired stopping mode. This mode stops shaft motion (at maximum deceleration) by setting the target position equal to the current position.

Setting bit ten of the trajectory control word selects stop smoothly as the desired stopping mode. This mode stops shaft motion by decelerating at the current user-programmed acceleration rate.

Note: Bits eight through ten of the trajectory control word must be used exclusively; only one of them should be logic one at any time.

Start Motion Control

The start motion control command, STT, must be executed to stop shaft motion.

Comments

After shaft motion is stopped with either an “abrupt” or a “smooth” stop module, the control system will attempt to hold the shaft at its current position. If forced away from this desired resting position and released, the shaft will move back to the desired position. Unless new trajectory parameters are loaded, execution of another STT command will restart the specified move.

After shaft motion is stopped with a “motor-off” stop module, desired shaft position tracks actual shaft position. Consequently, the motor drive signal remains at zero and the control system can not affect shaft position; the shaft should be stationary and free wheeling. If there is significant drive amplifier offset, the shaft may rotate slowly, but with minimal torque capability. Unless new trajectory parameters are loaded, execution of another STT command will restart the specified move.

I. Program Modules (Continued)

TABLE 6. Stop Module (Motor-Off)

Port	Bytes	Command	Comments
c	1F	LTRJ	This command initiates loading the trajectory parameters input buffers.
Busy-bit Check Module			
d d	x1 00	HB LB	These two bytes are the trajectory control word. A x1 hex HB selects motor-off as the desired stopping mode. A 00 hex LB indicates no trajectory parameters will be loaded.
Busy-bit Check Module			
c	01	STT	The start motion control command, STT, must be executed to stop shaft motion.
Busy-bit Check Module			

II. Programs

This section focuses on the development of four brief LM628 programs.

LOOP PHASING PROGRAM

Following initial power-up, the correct polarity of the motor drive signal must be determined. If the polarity is incorrect (loop inversion), the drive signal will push the shaft away from its desired position rather than towards it. This results in "motor runaway", a condition characterized by the motor running continuously at high speed.

The loop phasing program, detailed in *Table 7*, contains both the example initialization and filter programming modules. It also contains an LTRJ command sequence and an STT command.

Note: Execution of this simple program is only required the *first* time a new system is used.

Load Trajectory Parameters

An LTRJ (Load TRaJectory) command sequence includes command LTRJ, a trajectory control word, and a variable number of data words.

In the case of the Loop Phasing Program, the first byte of the trajectory control word, 00 hex, programs the LM628 to operate in position mode. The second byte, 00 hex, indicates no trajectory parameters will be loaded (i.e. in this program, zero data words follow the trajectory control word). The three trajectory parameters will remain at zero, their reset value.

Start Motion Control

The start motion control command, STT (STarT), transfers new trajectory parameters from input buffers to working registers and begins execution of the new trajectory. Until STT is executed, the new trajectory parameters do not affect shaft motion.

TABLE 7. Loop Phasing Program

Port	Bytes	Command	Comments
Initialization Module			
Filter Programming Module			
c	1F	LTRJ	This command initiates loading the trajectory parameters input buffers.
Busy-bit Check Module			
d d	00 00	HB LB	These two bytes are the trajectory control word. A 00 hex LB indicates no trajectory parameters will be loaded.
Busy-bit Check Module			
c	01	STT	STT must be issued to execute the desired trajectory.

Comments

Execution of command STT results in execution of the desired trajectory. With the acceleration set at zero, the profile generator generates a desired shaft position that is both constant and equal to the current absolute position. See *Figure 7*. Under these conditions, the control system will attempt to hold the shaft at its current absolute postion. The shaft will feel lightly "spring loaded". If forced (CAREFULLY) away from its desired position and released, the shaft will spring back to the desired position.

If the polarity of the motor drive signal is incorrect (loop inversion), motor runaway will occur immediately after execution of command STT, or after the shaft is forced (CAREFULLY) from its resting position.

Loop inversion can be corrected with one of three methods: interchanging the shaft position encoder signals (channel A and channel B), interchanging the motor power leads, or inverting the motor command signal before application to the motor drive amplifier. For LM629 based systems, loop inversion can be corrected by interchanging the motor power leads, interchanging the shaft position encoder signals, or logically inverting the PWM sign signal.

SIMPLE ABSOLUTE POSITION MOVE

The Simple Absolute Position Move Program, detailed in *Table 8*, utilizes both the initialization and filter programming modules, as well as, an LTRJ command sequence and an STT command.

Factors that influenced the development of this program included the following: the program must demonstrate simple trajectory parameters calculations, the program must demonstrate the programming flow required to load and execute an absolute position move, and correct completion of the move must be verifiable through simple observation.

Move: The shaft will accelerate at 0.1 rev/sec^2 until it reaches a maximum velocity of 0.2 rev/sec, and then decelerate to a stop exactly two revolutions from the starting position. See *Figure 10*.

II. Programs (Continued)

Note: Absolute position is position measured relative to zero (home). An absolute position move is a move that ends at a specified absolute position. For example, independent of the current absolute position of the shaft, if an absolute position of 30,000 counts is specified, upon completion of the move the absolute position of the shaft will be 30,000 counts (i.e. 30,000 counts relative to zero). The example program calls for a position move of two revolutions. Because the starting absolute position is 0 counts, the move is accomplished by specifying an absolute position of 8000 counts. See *Table 8*.

The Quadrature Incremental Encoder

As a supplement to the trajectory parameters calculations, a brief discussion is provided here to differentiate between encoder ***lines*** and encoder ***counts***.

A quadrature incremental shaft encoder encodes shaft rotation as electrical pulses. *Figure 11* details the signals generated by a 3-channel quadrature incremental encoder. The LM628 decodes (or "counts") a quadrature incremental signal to determine the absolute position of the shaft.

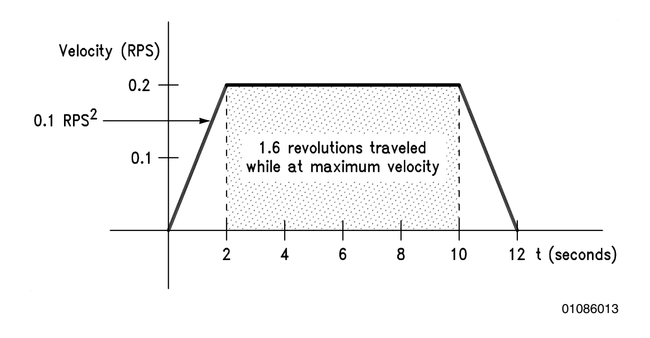
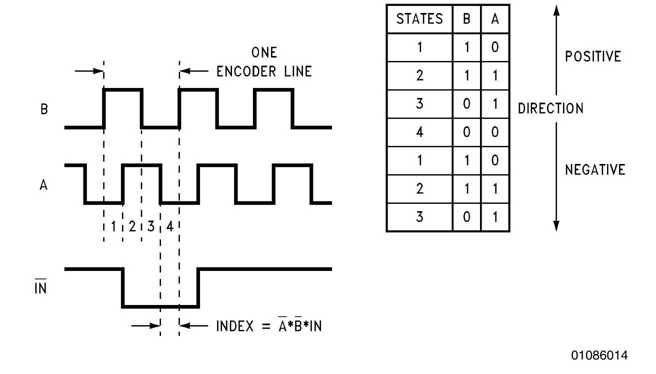


FIGURE 10. Velocity Profile for Simple Absolute Position Move Program



STATES	B	A
1	1	0
2	1	1
3	0	1
4	0	0
1	1	0
2	1	1
3	0	1

FIGURE 11. 3-Channel Quadrature Encoder Signals

The resolution of a quadrature incremental encoder is usually specified as a number of ***lines***. This number indicates the number of cycles of the output signals for each complete shaft revolution. For example, an N-line encoder generates N cycles of its output signals during each complete shaft revolution.

By definition, two signals that are in quadrature are 90˚ out of phase. When considered together, channels A and B (*Figure 11*) traverse four distinct digital states during each full cycle of either channel. Each state transition represents one ***count*** of shaft motion. The leading channel indicates the direction of shaft rotation.

Each line, therefore, represents one cycle of the output signals, and each cycle represents four encoder counts.

$$\left(N\,\frac{\text{CYCLES}}{\text{REVOLUTION}}\right)\times\left(4\,\frac{\text{COUNTS}}{\text{CYCLE}}\right)=4N\,\frac{\text{COUNTS}}{\text{REVOLUTION}}$$

The reference system uses a one thousand line encoder.

$$\left(1000\,\frac{\text{CYCLES}}{\text{REVOLUTION}}\right)\times\left(4\,\frac{\text{COUNTS}}{\text{CYCLE}}\right)=4000\,\frac{\text{COUNTS}}{\text{REVOLUTION}}$$

Sample Period

Sampling of actual shaft position occurs at a fixed frequency, the reciprocal of which is the system sample period. The system sample period is the unit of time upon which shaft acceleration and velocity are based.

$$T_S = (2048) \times \left(\frac{1}{f_{CLOCK}}\right) \text{ System Sample Period}$$

The reference system uses an 8 MHz clock. The sample period of the reference system follows directly from the definition.

$$T_S = (2048) \times \left(\frac{1}{8 \times 10^6\ \text{Hz}}\right) = 256 \times 10^{-6}\,\frac{\text{SECONDS}}{\text{SAMPLE}}$$

Trajectory Parameters Calculations

The shaft will accelerate at 0.1 rev/sec^2 until it reaches a maximum velocity of 0.2 rev/sec, and then decelerate to a stop exactly two revolutions from the starting position.

Trajectory parameters calculations for this move are detailed in *Figure 12*.

Comments

After completing the move, the control system will attempt to hold the shaft at its current absolute position. The shaft will feel lightly "spring loaded". If forced away from its desired resting position and released, the shaft will move back to the desired position.

II. Programs (Continued)

$$A = \left(4000 \frac{\text{COUNTS}}{\text{REVOLUTION}}\right) \times \left(256 \times 10^{-6} \frac{\text{SECONDS}}{\text{SAMPLE}}\right)^2 \times \left(0.1 \frac{\text{REVOLUTIONS}}{\text{SECOND}^2}\right) = 2.62 \times 10^{-5} \frac{\text{COUNTS}}{\text{SAMPLE}^2}$$

$$A = \left(2.62 \times 10^{-5} \frac{\text{COUNTS}}{\text{SAMPLE}^2}\right) \times (65{,}536) = 1.718 \frac{\text{COUNTS}}{\text{SAMPLE}^2} \quad \text{Acceleration Scaled}$$

$$A = 2 \frac{\text{COUNTS}}{\text{SAMPLE}^2} \quad \text{Acceleration Rounded}$$

$$A = 00\ 00\ 00\ 02 \text{ hex} \frac{\text{COUNTS}}{\text{SAMPLE}^2}$$

$$V = \left(4000 \frac{\text{COUNTS}}{\text{REVOLUTION}}\right) \times \left(256 \times 10^{-6} \frac{\text{SECONDS}}{\text{SAMPLE}}\right) \times \left(0.2 \frac{\text{REVOLUTIONS}}{\text{SECOND}}\right) = 0.2048 \frac{\text{COUNTS}}{\text{SAMPLE}}$$

$$V = \left(0.2048 \frac{\text{COUNTS}}{\text{SAMPLE}}\right) \times (65{,}536) = 13{,}421.77 \frac{\text{COUNTS}}{\text{SAMPLE}} \quad \text{Velocity Scaled}$$

$$V = 13{,}422 \frac{\text{COUNTS}}{\text{SAMPLE}} \quad \text{Velocity Rounded}$$

$$V = 00\ 00\ 34\ 6\text{E hex} \frac{\text{COUNTS}}{\text{SAMPLE}}$$

$$P = \left(4000 \frac{\text{COUNTS}}{\text{REVOLUTION}}\right) \times (2.0 \text{ REVOLUTIONS}) = 8000 \text{ COUNTS}$$

$$P = 00\ 00\ 1\text{F}\ 40 \text{ hex COUNTS}$$

01086029

FIGURE 12. Calculations of Trajectory Parameters for Simple Absolute Position Move

II. Programs (Continued)

TABLE 8. Simple Absolute Position Move Program

Port	Bytes	Command	Comments
			Initialization Module
			Filter Programming Module
c	1F	LTRJ	This command initiates loading the trajectory parameters input buffers
			Busy-bit Check Module
d d	00 2A	HB LB	These two bytes are the trajectory control word. A 2A hex LB indicates acceleration, velocity, and position will be loaded and all three parameters are absolute.
d d	00 00	HB LB	Acceleration is loaded in two data words. These two bytes are the high data word. In this case, the acceleration is 0.1 rev/sec^2.
			Busy-bit Check Module
d d	00 02	HB LB	acceleration data word (low)
d d	00 00	HB LB	velocity is loaded in two data words. These two bytes are the high data word. In this case, the velocity is 0.2 rev/sec.
			Busy-bit Check Module
d d	34 6E	HB LB	velocity data word (low)
			Busy-bit Check Module
d d	00 00	HB LB	Position is loaded in two data words. These two bytes are the high data word. In this case, the position loaded is eight thousand counts. This results in a move of two revolutions in the forward direction.
			Busy-bit Check Module
d d	1F 40	HB LB	position data word (low)
			Busy-bit Check Module
c	01	STT	STT must be issued to execute the desired trajectory.

SIMPLE RELATIVE POSITION MOVE

This program demonstrates the programming flow required to load and execute a relative position move. See *Table 9*.

Move: Independent of the current resting position of the shaft, the shaft will complete thirty revolutions in the reverse direction. Total time to complete the move is fifteen seconds. Total time for acceleration and deceleration is five seconds.

Note: Target position is the final requested position. If the shaft is stationary, and motion has not been stopped with a "motor-off" stop module, the current absolute position of the shaft is the target position. If motion has been stopped with a "motor-off" stop module, or a position move has begun, the absolute position that corresponds to the endpoint of the current trajectory is the target position. Relative position is position measured relative to the current target position of the shaft. A relative position move is a move that ends the specified "relative" number of counts away from the current target position of the shaft. For example, if the current target position of the shaft is 10 counts, and a relative position of 30,000 counts is specified, upon completion of the move the absolute position of the shaft will be 30,010 counts (i.e. 30,000 counts relative to 10 counts).

Load Trajectory Parameters

The first byte of the trajectory control word, 00 hex, programs position mode operation. The second byte, 2B hex, indicates all three trajectory parameters will be loaded. It also indicates both acceleration and velocity will be absolute values while position will be a relative value.

Trajectory Parameters Calculations

Independent of the current resting position of the shaft, the shaft will complete thirty revolutions in the reverse direction. Total time to complete the move is fifteen seconds. Total time for acceleration and deceleration is five seconds.

The reference system utilizes a one thousand line encoder. The number of counts for each complete shaft revolution and the total counts for this position move are determined.

$$\left(1000\,\frac{\text{CYCLES}}{\text{REVOLUTION}}\right)\times\left(4\,\frac{\text{COUNTS}}{\text{CYCLE}}\right)=4000\,\frac{\text{COUNTS}}{\text{REVOLUTION}}$$

$$\left(4000\,\frac{\text{COUNTS}}{\text{REVOLUTION}}\right)\times(30\text{ REVOLUTIONS})=120{,}000\text{ COUNTS}$$

With respect to time, two-thirds of the move is made at maximum velocity and one-third is made at a velocity equal to one-half the maximum velocity (Note 7). Therefore, total counts traveled during acceleration and deceleration periods is one-fifth the total counts traveled. See *Figure 13*.

II. Programs (Continued)

$$\frac{120{,}000\ \text{COUNTS}}{5} = 24{,}000\ \text{COUNTS} \quad \text{total counts traveled during acceleration and deceleration}$$

$$\frac{24{,}000\ \text{COUNTS}}{2} = 12{,}000\ \text{COUNTS} \quad \text{counts traveled during acceleration}$$

The reference system uses an 8 MHz clock. The sample period of the reference system is determined.

$$T_S = (2048) \times \left(\frac{1}{8 \times 10^6 \text{Hz}}\right) = 256 \times 10^{-6} \frac{\text{SECONDS}}{\text{SAMPLE}}$$

The number of samples during acceleration (and deceleration) is determined.

$$\frac{2.5\ \text{SECONDS}}{256 \times 10^{-6} \frac{\text{SECONDS}}{\text{SAMPLE}}} = 9766\ \text{SAMPLES} \quad \text{number of samples during acceleration}$$

Using the number of counts traveled during acceleration and the number of samples during acceleration, acceleration is determined.

$$s = \frac{at^2}{2} \quad \text{distance traveled during time t at acceleration a}$$

$$a = \frac{2s}{t^2} = \frac{(2) \times (12{,}000\ \text{COUNTS})}{(9766\ \text{SAMPLES})^2} = 0.000252 \frac{\text{COUNTS}}{\text{SAMPLE}^2}$$

Total counts traveled while at maximum velocity is four-fifths the total counts traveled.

$$\frac{(4) \times (120{,}000\ \text{COUNTS})}{5} = 96{,}000\ \text{COUNTS}$$

Note 7: Average velocity during acceleration and deceleration periods is one-half the maximum velocity.

TABLE 9. Simple Relative Position Move Program

Port	Bytes	Command	Comments
Initialization Module			
Filter Programming Module			
c	1F	LTRJ	This command initiates loading the trajectory parameters input buffers.
Busy-bit Check Module			
d d	00 2B	HB LB	These two bytes are the trajectory control word. A 2B hex LB indicates all three parameters will be loaded and both acceleration and velocity will be absolute values while position will be a relative value.
Busy-bit Check Module			
d d	00 00	HB LB	Acceleration is loaded in two data words. These two bytes are the high data word. In this case, the acceleration is 17 counts/sample^2.
Busy-bit Check Module			
d d	00 11	HB LB	acceleration data word (low)
Busy-bit Check Module			
d d	00 02	HB LB	Velocity is loaded in two data words. These two bytes are the high data word. In this case, velocity is 161,087 counts/sample.
Busy-bit Check Module			
d d	75 3F	HB LB	velocity data word (low)
Busy-bit Check Module			
d d	FF FE	HB LB	Position is loaded in two data words. These two bytes are the high data word. In this case, the position loaded is –120,000 counts. This results in a move of thirty revolutions in the reverse direction.
Busy-bit Check Module			
d d	2B 40	HB LB	position data word (low)
Busy-bit Check Module			
c	01	STT	STT must be issued to execute the desired trajectory.

II. Programs (Continued)

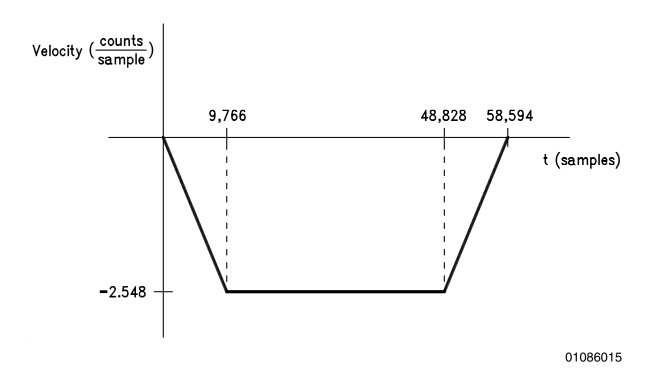


FIGURE 13. Velocity Profile for Simple Relative Position Move Program

The number of samples while at maximum velocity is determined.

$$\frac{10 \text{ SECONDS}}{256 \times 10^{-6} \frac{\text{SECONDS}}{\text{SAMPLE}}} = 39{,}062 \text{ SAMPLES} \quad \text{number of samples while at maximum velocity}$$

Using the total counts traveled while at maximum velocity and the number of samples while at maximum velocity, velocity is determined.

$$\frac{96{,}000 \text{ COUNTS}}{39{,}062 \text{ SAMPLES}} = 2.458 \frac{\text{COUNTS}}{\text{SAMPLE}}$$

Both acceleration and velocity values are scaled.

$$\left(0.000252 \frac{\text{COUNTS}}{\text{SAMPLE}^2}\right) \times (65{,}536) = 16.515 \frac{\text{COUNTS}}{\text{SAMPLE}^2}$$

$$\left(2.458 \frac{\text{COUNTS}}{\text{SAMPLE}}\right) \times (65{,}536) = 161{,}087.488 \frac{\text{COUNTS}}{\text{SAMPLE}}$$

Acceleration and velocity are rounded to the nearest integer and all three trajectory parameters are converted to hexadecimal.

$$A = 17 = \text{00 00 00 11 hex} \frac{\text{COUNTS}}{\text{SAMPLE}^2}$$

$$V = 161{,}087 = \text{00 02 75 3F hex} \frac{\text{COUNTS}}{\text{SAMPLE}}$$

$$P = -120{,}000 = \text{FF FE 2B 40 hex COUNTS}$$

BASIC VELOCITY MODE MOVE WITH BREAKPOINTS

This program demonstrates basic velocity mode programming and the (typical) programming flow required to set both absolute and relative breakpoints. See *Table 10*.

Move: The shaft will accelerate at 1.0 rev/sec^2 until it reaches a maximum velocity of 2.0 rev/sec. After completing twenty forward direction revolutions (including revolutions during acceleration), the shaft will accelerate at 1.0 rev/sec^2 until it reaches a maximum velocity of 4.0 rev/sec. After completing twenty forward direction revolutions (including revolutions during acceleration), the shaft will decelerate (at 1.0 rev/sec^2) to a stop. See *Figure 14*.

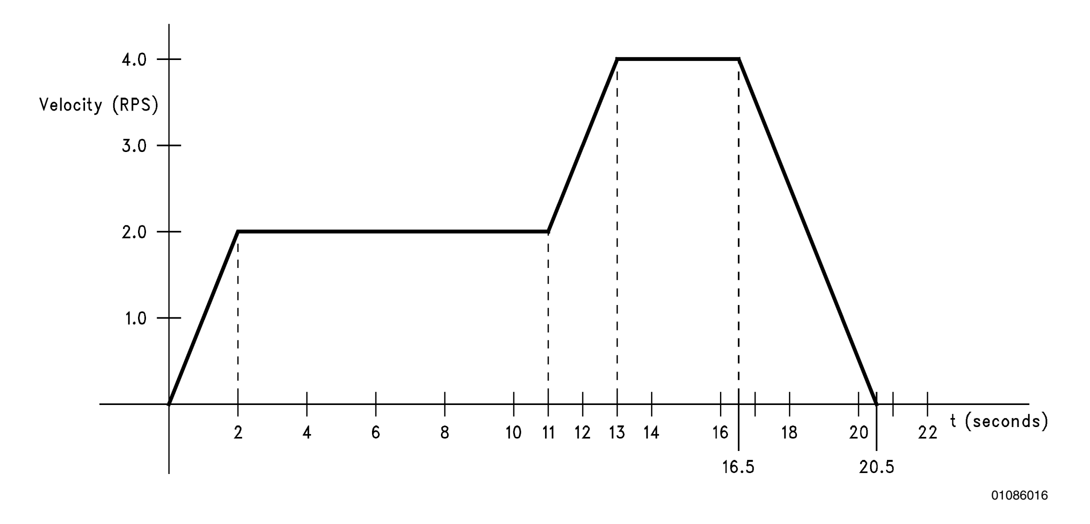


FIGURE 14. Velocity Profile for Basic Velocity Mode with Breakpoints Program

Mask Interrupts

An MSKI command sequence allows the user to determine which interrupt conditions result in host interrupts; interrupting the host via the host interrupt output (pin 17). It contains an MSKI command and one data word.

The MSKI command initiates interrupt masking.

Immediately following the MSKI command, a single data word is written. The first byte is not used. Bits one through six of the second byte determine the masked/unmasked status of each interrupt. See *Figure 6*. Any zeros in this 6-bit field mask (disable) the corresponding interrupts while any ones unmask (enable) the corresponding interrupts.

II. Programs (Continued)

In the case of the examlple program, the second byte of the MSKI data word, 40 hex, enables the breakpoint interrupt. All other interrupts are disabled (masked).

When interrupted, the host processor can read the Status Byte to determine which interrupt condition(s) occurred. See *Figure 5*.

Note: Command MSKI controls only the host interrupt process. Bits one through six of the Status Byte reflect actual conditions independent of the masked/unmasked status of individual interrupts. This feature allows interrupts to be serviced with a polling scheme.

Set Breakpoints (Absolute and Relative)

An SBPA command sequence enables the user to set breakpoints in terms of absolute shaft position. An SBPR command sequence enables setting breakpoints relative to the current target position. When a breakpoint position is reached, bit six of the status byte, the breakpoint interrupt flag, is set to logic high. If this interrupt is enabled (unmasked), the host will be interrupted via the host interrupt output (pin 17).

An SBPA (or SBPR) command initiates loading/setting a breakpoint. The two data words, written immediately following the SBPA (or SBPR) command, represent the breakpoint position.

The example program contains a relative breakpoint set at 80,000 counts relative to position zero (the current target position). This represents a move of twenty forward direction revolutions. When this position is reached, the LM628 interrupts the host processor, and the host executes a sequence of commands that increases the maximum velocity, resets the breakpoint interrupt flag, and loads an absolute breakpoint.

The example program contains an absolute breakpoint set at 160,000 counts. When this absolute position is reached, the LM628 interrupts the host processor, and the host executes a Smooth Stop Module.

Breakpoint positions for this example program are determined.

$$\left(4000\,\frac{\text{COUNTS}}{\text{REVOLUTION}}\right) \times (20\ \text{REVOLUTIONS})$$

$$= 80{,}000\ \text{COUNTS} \quad \text{relative breakpoint}$$

$$\left(4000\,\frac{\text{COUNTS}}{\text{REVOLUTION}}\right) \times (40\ \text{REVOLUTIONS})$$

$$= 160{,}000\ \text{COUNTS} \quad \text{absolute breakpoint}$$

Load Trajectory Parameters

This example program contains two LTRJ command sequences. The trajectory control word of the first LTRJ command sequence, 1828 hex, programs forward direction velocity mode, and indicates an absolute acceleration and an absolute velocity will be loaded. The trajectory control word of the second LTRJ command sequence, 180C hex, programs forward direction velocity mode, and indicates a relative velocity will be loaded. See *Figure 9*.

Trajectory parameters calculations follow the same format as those detailed for the simple absolute position move. See *Figure 12*.

TABLE 10. Basic Velocity Mode Move with Breakpoints Program

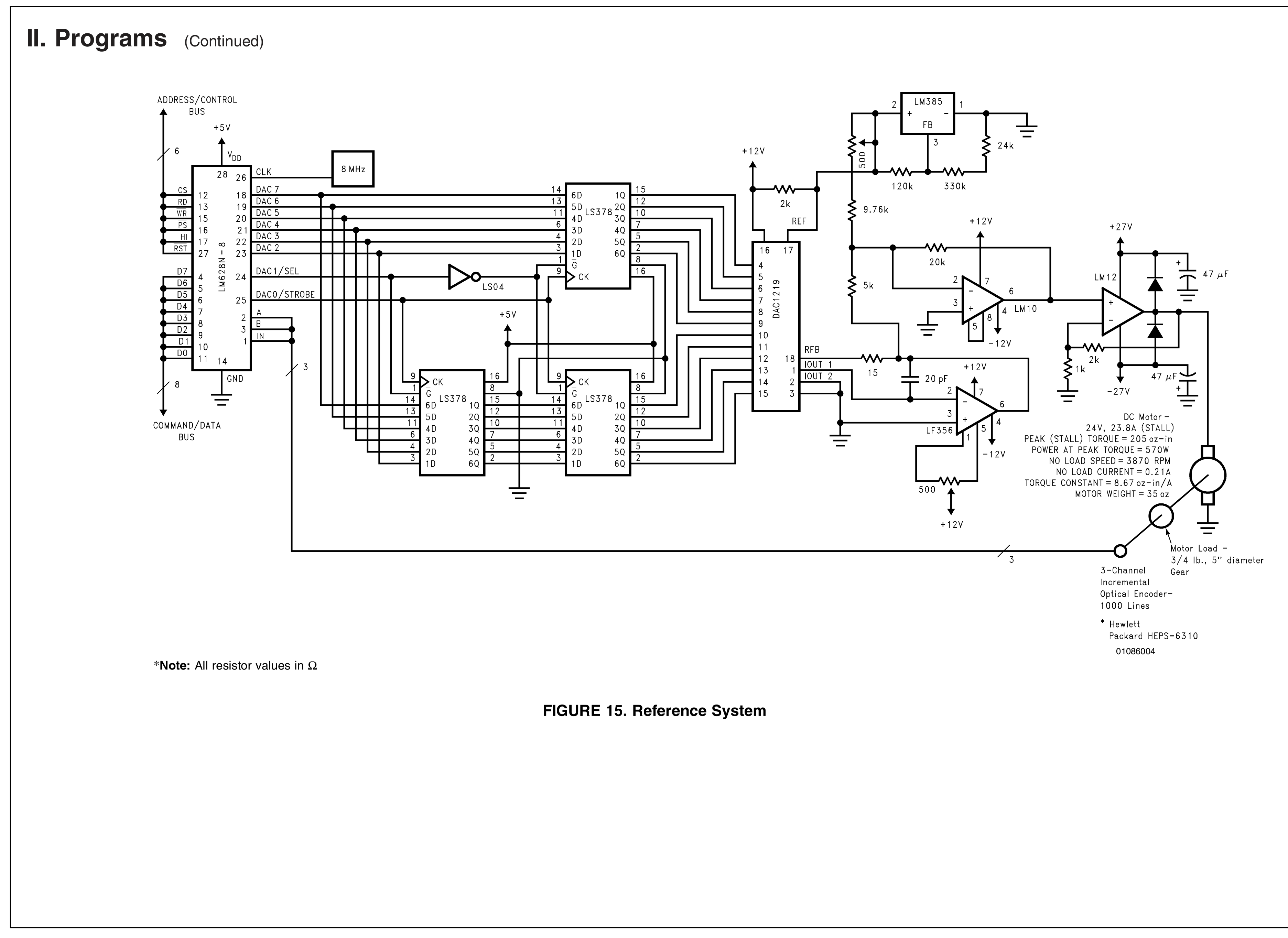
Port	Bytes	Command	Comments
			Initialization Module
			Filter Programming Module
c	1C	MSKI	Mask interrupts.
			Busy-bit Check Module
d	xx	HB	don't care
d	40	LB	A 40 hex LB enables (unmasks) the breakpoint interrupt. All other interrupts are disabled (masked).
			Busy-bit Check Module
c	21	SPBR	This command initiates loading a relative breakpoint.
			Busy-bit Check Module
d	00	HB	A breakpoint is loaded in two data words. These two bytes are the high data word. In
d	01	LB	this case, the breakpoint is 80,000 counts relative to the current commanded target position (zero).
			Busy-bit Check Module
d	38	HB	breakpoint data word (low)
d	80	LB	
			Busy-bit Check Module
c	1F	LTRJ	Load trajectory.
			Busy-bit Check Module
d	18	HB	These two bytes are the trajectory control word. A 18 hex HB programs forward
d	28	LB	direction velocity mode operation. A 28 hex LB indicates acceleration and velocity will be loaded and both values are absolute.

II. Programs (Continued)

TABLE 10. Basic Velocity Mode Move with Breakpoints Program (Continued)

Port	Bytes	Command	Comments
			Busy-bit Check Module
d d	00 00	HB LB	Acceleration is loaded in two data words. These two bytes are the high data word. In this case, the acceleration is 1.0 rev/sec^2.
			Busy-bit Check Module
d d	00 11	HB LB	acceleration data word (low)
			Busy-bit Check Module
d d	00 02	HB LB	Velocity is loaded in two data words. These two bytes are the high data word. In this case, velocity is 2.0 rev/s.
			Busy-bit Check Module
d d	0C 4A	HB LB	velocity data word (low)
			Busy-bit Check Module
c	01	STT	Start motion control.
			Busy-bit Check Module
c	1F	LTRJ	This command initiates loading the trajectory parameters input buffers.
			Busy-bit Check Module
d d	18 0C	HB LB	These two bytes are the trajectory control word. A 18 hex HB programs forward direction velocity mode operation. A 0C hex LB indicates only velocity will be loaded and it will be a relative value.
			Busy-bit Check Module
d d	00 02	HB LB	Velocity is loaded in two data words. These two bytes are the high data word. In this case, velocity is 2.0 rev/s. Because this is a relative value, the current velocity will be increased by 2.0 rev/s. The resultant velocity will be 4.0 rev/s.
			Busy-bit Check Module
d d	0C 4A	HB LB	velocity data word (low)
		wait	This wait represents the host processor waiting for an LM628 breakpoint interrupt.
c	01	STT	Start motion control.
			Busy-bit Check Module
c	1D	RSTI	Reset interrupts.
			Busy-bit Check Module
d d	xx 00	HB LB	don't care Zeros in bits one through six reset **all** interrupts.
			Busy-bit Check Module
c	20	SPBA	This command initiates loading an absolute breakpoint.
			Busy-bit Check Module
d d	00 02	HB LB	A breakpoint is loaded in two data words. These two bytes are the high data word. In this case, the breakpoint is 160,000 counts absolute.
			Busy-bit Check Module
d d	71 00	HB LB	breakpoint data word (low)
		wait	This wait represents the host processor waiting for an LM628 breakpoint interrupt.
			"Smooth" Stop Module

II. Programs (Continued)



*Note: All resistor values in Ω

FIGURE 15. Reference System

III. Tuning the PID Filter

BACKGROUND

The transient response of a control system reveals important information about the "quality" of control, and because a step input is easy to generate and sufficiently drastic, the transient response of a control system is often characterized by the response to a step input, the system step response.

In turn, the step response of a control system can be characterized by three attributes: maximum overshoot, rise time, and settling time. These step response attributes are defined in what follows and detailed graphically in *Figure 16*.

1. The maximum overshoot, Mp, is the maximum peak value of the response curve measured from unity. The amount of maximum overshoot directly indicates the relative stability of the system.
2. The rise time, t_r, is the time required for the response to rise from ten to ninety percent of the final value.
3. The settling time, t_s, is the time required for the response to reach and stay within two percent of the final value.

A critically damped control system provides optimum performance. The step response of a critically damped control system exhibits the minimum possible rise time that maintains zero overshoot and zero ringing (damped oscillations). *Figure 17* illustrates the step response of a critically damped control system.

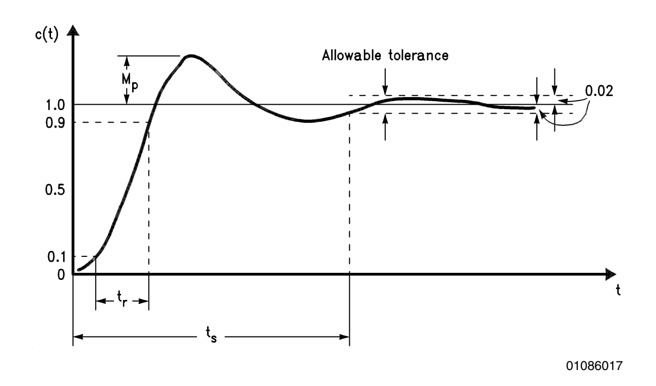


FIGURE 16. Unit Step Response Curve Showing Transient Response Attributes

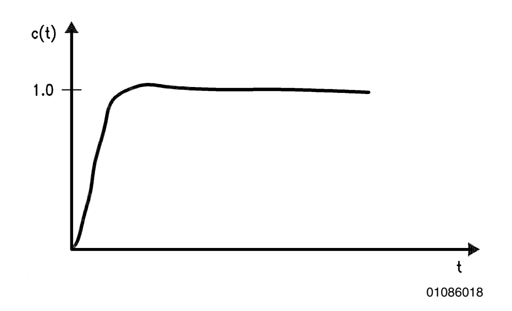


FIGURE 17. Unit Step Response of a Critically Damped System

INTRODUCTION

The LM628 is a digital PID controller. The loop-compensation filter of a PID controller is usually tuned experimentally, especially if the system dynamics are not well known or defined.

The ultimate goal of tuning the PID filter is to critically damp the motor control system—provide optimum tracking and settling time.

As shown in *Figure 7*, the response of the PID filter is the sum of three terms, a proportional term, an integral term, and a derivative term. Five variables shape this response. These five variables include the three gain coefficients (k_p, k_i, and k_d), the integration limit coefficient (i_l), and the derivative sampling coefficient (d_s). *Tuning the filter equates to determining values for these variable coefficients, values that critically damp the control system* .

Filter coefficients are best determined with a two-step experimental approach. In the first step, the values of k_p, k_i, and k_d (along with i_l and d_s) are systematically varied until reasonably good response characteristics are obtained. Manual and visual methods are used to evaluate the effect of each coefficient on system behavior. In the second step, an oscilloscope trace of the system step response provides detailed information on system damping, and the filter coefficients, determined in step one, are modified to critically damp the system.

Note: In step one, adjustments to filter coefficient values are inherently coarse, while in step two, adjustments are inherently fine. Due to this coarse/fine nature, steps one and two complement each other, and the two-step approach is presented as the "best" tuning method. The PID filter can be tuned with either step one or step two alone.

STEP ONE—MANUAL VISUAL METHOD

Introduction

In the first step, the values of k_p, k_i, and k_d (along with i_l and d_s) are systematically varied until reasonably good response characteristics are obtained. Manual and visual methods are used to evaluate the effect of each coefficient on system behavior.

Note: The next four numbered sections are ordered steps to tuning the PID filter.

1. Prepare the System

The initialization section of the filter tuning program is executed to prepare the system for filter tuning. See *Table 11*. This section initializes the system, presets the filter parameters (k_p, k_i, il = 0, k_d = 2, d_s = 1), and commands the control loop to hold the shaft at the current position.

After executing the initialization section of the filter tuning program, both desired and actual shaft positions equal zero; the shaft should be stationary. Any displacement of the shaft constitutes a position error, but with both k_p and k_i set to zero, the control loop can not correct this error.

2. Determine the Derivative Gain Coefficient

The filter derivative term provides damping to eliminate oscillation and minimize overshoot and ringing, stabilize the system. Damping is provided as a force proportional to the rate of change of position error, and the constant of proportionality is k_d x d_s. See *Figure 18*.

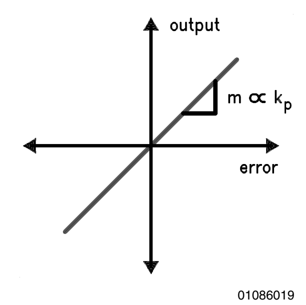
Coefficients k_d and d_s are determined with an iterative process. Coefficient k_d is systematically increased until the shaft begins high frequency oscillations. Coefficient d_s is then increased by one. The entire process is repeated until d_s reaches a value appropriate for the system.

III. Tuning the PID Filter (Continued)

The system sample period sets the time interval between updates of position error. The derivative sampling interval is an integer multiple of the system sample period. See *Table 3*. It sets the time interval between successive position error samples used in the derivative term, and, therefore, directly affects system damping. The derivative sampling interval should be five to ten times smaller than the system mechanical time constant — this means many systems will require low d_s. In general, however, k_d and d_s should be set to give the largest k_d x d_s product that maintains acceptably low motor vibrations.

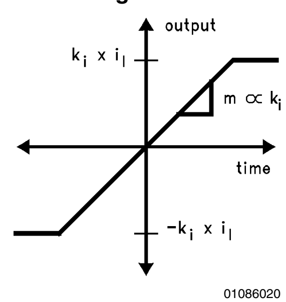
Note: Starting k_d at two and doubling it is a good method of increasing k_d. Manually turning the shaft reveals that with each increase of k_d, the resistance of the shaft to turning increases. The shaft feels increasingly sluggish and, because k_d provides a force proportional to the rate of change of position error, the faster the shaft is turned the more sluggish it feels. For the reference system, the final values of k_d and d_s are 4000 and 4 respectively.

Proportional Term



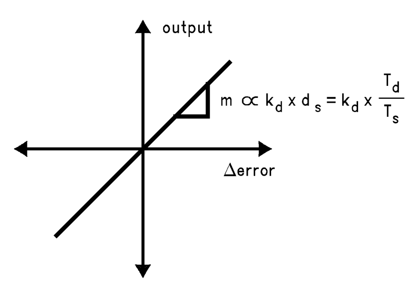
01086019

Integral Term



01086020

Derivative Term



01086021

FIGURE 18. Proportional, Integral, and Derivative (PID) Force Components

TABLE 11. Initialization Section— Filter Tuning Program

Port	Bytes	Command	Comments
c	00	RESET	See Initialization Module Text
		wait	The maximum time to complete RESET tasks is 1.5 ms.
c	06	PORT12	The RESET default size of the DAC port is eight bits. This command initializes the DAC port for a 12-bit DAC. It should not be issued in systems with an 8-bit DAC.
Busy-bit Check Module			
c	1D	RSTI	This command resets **only** the interrupts indicated by zeros in bits one through six of the next data word. It also resets bit fifteen of the Signals Register and the host interrupt pin (pin 17).
Busy-bit Check Module			
d	xx	HB	don't care
d	00	LB	Zeros in bits one through six indicate **all** interrupts will be reset.
Busy-bit Check Module			
c	1C	MSKI	This command masks the interrupts indicated by zeros in bits one through six of the next data word.
Busy-bit Check Module			
d	xx	HB	don't care

III. Tuning the PID Filter (Continued)

TABLE 11. Initialization Section — Filter Tuning Program (Continued)

Port	Bytes	Command	Comments
d	04	LB	A 04 hex LB enables (unmasks) the trajectory complete interrupt. All other interrupts are disabled (masked). See *Figure 6*.
Busy-bit Check Module			
c	1E	LFIL	This command initiates loading the filter coefficients input buffers.
Busy-bit Check Module			
d d	00 x2	HB LB	These two bytes are the filter control word. A 00 hex HB sets the derivative sampling interval to 2048/f_{CLK} by setting d_s to one. A x2 hex LB indicates only k_d will be loaded. The other filter parameters will remain at zero, their reset default value.
Busy-bit Check Module			
d d	00 02	HB LB	These two bytes set k_d to two.
Busy-bit Check Module			
c	04	UDF	This command transfers new filter coefficients from input buffers to working registers. Until UDF is executed, coefficients loaded via the LFIL command do not affect the filter transfer characteristic.
Busy-bit Check Module			
c	1F	LTRJ	This command initiates loading the trajectory parameters input buffers.
Busy-bit Check Module			
d d	00 00	HB LB	These two bytes are the trajectory control word. A 00 hex LB indicates no trajectory parameters will be loaded.
Busy-bit Check Module			
c	01	STT	STT must be issued to execute the desired trajectory.

3. Determine the Proportional Gain Coefficient

Inertial loading causes following (or tracking) error, position error associated with a moving shaft. External disturbances and torque loading cause displacement error, position error associated with a stationary shaft. The filter proportional term provides a restoring force to minimize these position errors. The restoring force is proportional to the position error and increases linearly as the position error increases. See *Figure 18*. The proportional gain coefficient, k_p, is the constant of proportionality.

Coefficient k_p is determined with an iterative process — the value of k_p is increased, and the system damping is evaluated. This is repeated until the system is critically damped.

System damping is evaluated manually. Manually turning the shaft reveals each increase of k_p increases the shaft "stiffness". The shaft feels spring loaded, and if forced away from its desired holding position and released, the shaft "springs" back. If k_p is too low, the system is over damped, and the shaft recovers too slowly. If k_p is too large, the system is under damped, and the shaft recovers too quickly. This causes overshoot, ringing, and possibly oscillation. The proportional gain coefficient, k_p, is increased to the largest value that does not cause excessive overshoot or ringing. At this point the system is critically damped, and therefore provides optimum tracking and settling time.

Note: Starting k_p at two and doubling it at each iteration is a good method of increasing k_p. The final value of k_p for the reference system is 40.

4. Determine the Integral Gain Coefficient

The filter proportional term minimizes the errors due to inertial and torque loading. The integral term, however, provides a corrective force that can eliminate following error while the shaft is spinning and the deflection effects of a static torque load while the shaft is stationary. This corrective force is proportional to the position error and increases linearly with time. See *Figure 18*. The integral gain coefficient, k_i, is the constant of proportionality.

High values of k_i provide quick torque compensation, but increase overshoot and ringing. In general, k_i should be set to the smallest value that provides the appropriate compromise between three system characteristics: overshoot, settling time, and time to cancel the effects of a static torque load. In systems without significant static torque loading, a k_i of zero may be appropriate.

The corrective force provided by the integral term increases linearly with time. The integration limit coefficient, i_l, acts as a clamping value on this force to prevent integral wind-up, a backlash effect. As noted in *Figure 18*, i_l limits the summation of error (over time), not the product of k_i and this summation. In many systems i_l can be set to its maximum value, 7FFF hex, without any adverse effects. The integral term has no effect if i_l is set to zero.

For the test system, the final values of k_i and i_l are 5 and 1000 respectively.

STEP TWO — STEP RESPONSE METHOD

Introduction

The step response of a control system reveals important information about the "quality" of control — specifically, detailed information on system damping.

In the second step to tuning the PID filter, an oscilloscope trace of the control system step response is used to accurately evaluate system damping, and the filter coefficients, determined in step one, are fine tuned to critically damp the system.

III. Tuning the PID Filter (Continued)

Software Considerations

The step generation section of the filter tuning program provides the control loop with a repetitive small-signal step input. This is accomplished by repeatedly executing a small position move with high maximum velocity and high acceleration. See *Figure 19* and *Table 12*.

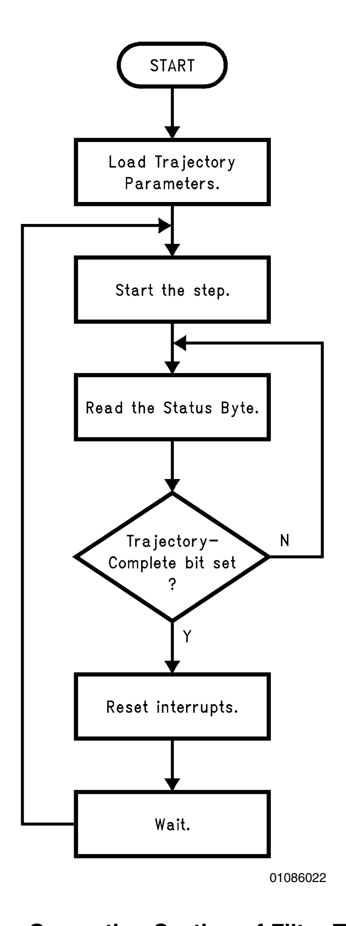


FIGURE 19. Step Generation Section of Filter Tuning Program

III. Tuning the PID Filter (Continued)

TABLE 12. Step Generation Section—Filter Tuning Program

Port	Bytes	Command	Comments
c	1F	LTRJ	This command initiates loading the trajectory parameters input buffers.
Busy-bit Check Module			
d	00	HB	These two bytes are the trajectory control word. A 2B hex LB indicates acceleration, velocity, and position will be loaded and both acceleration and velocity are absolute while position is relative.
d	2B	LB	
Busy-bit Check Module			
d	00	HB	Acceleration is loaded in two data words. These two bytes are the high data word.
d	04	LB	
Busy-bit Check Module			
d	93	HB	acceleration data word (low)
d	E0	LB	
Busy-bit Check Module			
d	00	HB	Velocity is loaded in two data words. These two bytes are the high data word.
d	07	LB	
Busy-bit Check Module			
d	A1	HB	velocity data word (low)
d	20	LB	
Busy-bit Check Module			
d	00	HB	Position is loaded in two data words. These two bytes are the high data word.
d	00	LB	
Busy-bit Check Module			
d	00	HB	position data word (low)
d	C8	LB	
Busy-bit Check Module			
c	01	STT	STT must be issued to execute the desired trajectory.
Busy-bit Check Module			
c	xx	RDSTAT	This command reads the Status Byte. It is directly supported by LM628 hardware and can be executed at any time by pulling $\overline{CS}$, $\overline{PS}$, and $\overline{RD}$ logic low. Status information remains valid as long as $\overline{RD}$ is logic low.
		decision	If the Trajectory Complete interrupt bit is set, continue. Otherwise loop back to RDSTAT.
c	1D	RSTI	This command resets **only** the interrupts indicated by zeros in bits one through six of the next data word. It also resets bit fifteen of the Signals Register and the host interrupt pin (pin 17).
d	xx	HB	don't care
d	00	LB	Zeros in bits one through six indicate **all** interrupts will be reset.
		wait	This wait block inserts a delay between repetitions of the step input. The delay is application specific, but a good range of values for the delay is 5 ms to 5000 ms.
		loop	Loop back to STT.

Hardware Considerations

For a motor control system, an oscilloscope trace of the system step response is a graph of the real position of the shaft versus time after a small and instantaneous change in desired position.

For an LM628-based system, no extra hardware is needed to view the system step response. During a step, the voltage across the motor represents the system step response, and an oscilloscope is used to generate a graph of this response (voltage).

For an LM629-based system, extra hardware is needed to view the system step response. *Figure 20* illustrates a circuit for this purpose. During a step, the voltage output of this circuit represents the system step response, and an oscilloscope is used to generate a graph of this response.

The oscilloscope trigger signal, a rectangular pulse train, is taken from the host interrupt output pin (pin 17) of the LM628/LM629. This signal is generated by the combination of a trajectory complete interrupt and a reset interrupts (RSTI) command. See *Figure 19*.

Note: The circuit of *Figure 20* can be used to view the step response of an LM628-based system.

III. Tuning the PID Filter (Continued)

Observations

What follows are example oscilloscope traces of the step response of the reference system.

Note 8: All traces were generated using the circuit of *Figure 20*.

Note 9: All traces were generated using the following "step" trajectory parameters: relative position, 200 counts; absolute velocity, 500,000 counts/sample; acceleration, 300,000 counts/sample/sample. These values generated a good small-signal step input for the reference system; other systems will require different trajectory parameters. In general, step trajectory parameters consist of a small relative position, a high velocity, and a high acceleration.

The position parameter must be relative. Otherwise, a define home command (DFH) must be added to the main loop of the step generation section — filter tuning program. See *Figure 19*.

The circuit for viewing the system step response uses an 8-bit analog-to-digital converter. See *Figure 20*. To prevent converter overflow, the step position parameter must not be set higher than 200 counts.

Note 10: The circuit of *Figure 20* produces an "inverted" step response graph. The oscilloscope input was inverted to produce a positive-going (more familiar) step response graph.

Figure 21 represents the step response of an under damped control system; this response exhibits excessive overshoot and long settling time. The filter parameters used to generate this response were as follows: k_p, 35; k_i, 5; k_d, 600; d_s, 4; i_l, 1000. *Figure 21* indicates the need to increase k_d, the derivative gain coefficient.

Figure 22 represents the step response of an over damped control system; this response exhibits excessive rise time which indicates a sluggish system. The filter parameters used to generate this response were as follows: k_p, 35; k_i, 5; k_d, 10,000; d_s, 7; i_l, 1000. *Figure 22* indicates the need to decrease k_d and d_s.

Figure 23 represents the step response of a critically damped control system; this response exhibits virtually zero overshoot and short rise time. The filter parameters used to generate this response were as follows: k_p, 40; k_i, 5; k_d, 4000; d_s, 4; i_l, 1000.

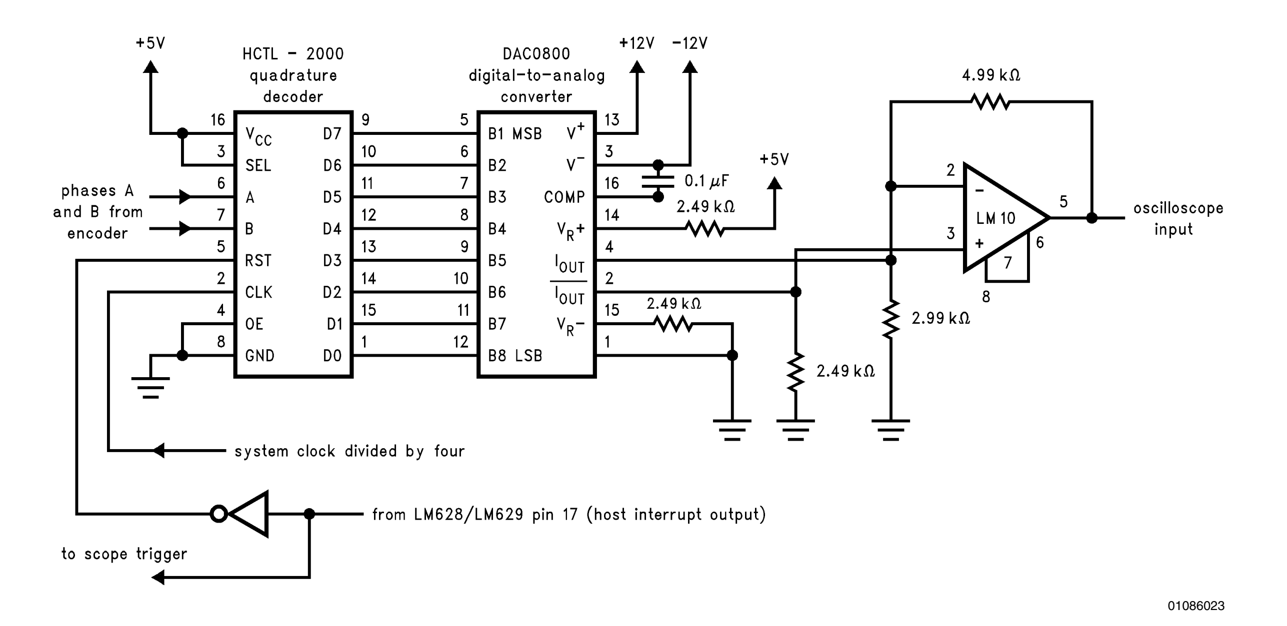


FIGURE 20. Circuit for Viewing the System Step Response with an Oscilloscope

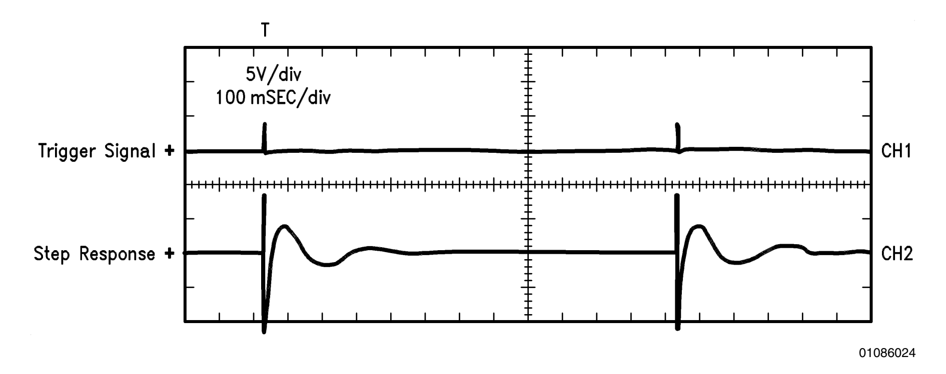


FIGURE 21. The Step Response of an Under Damped Control System

III. Tuning the PID Filter (Continued)

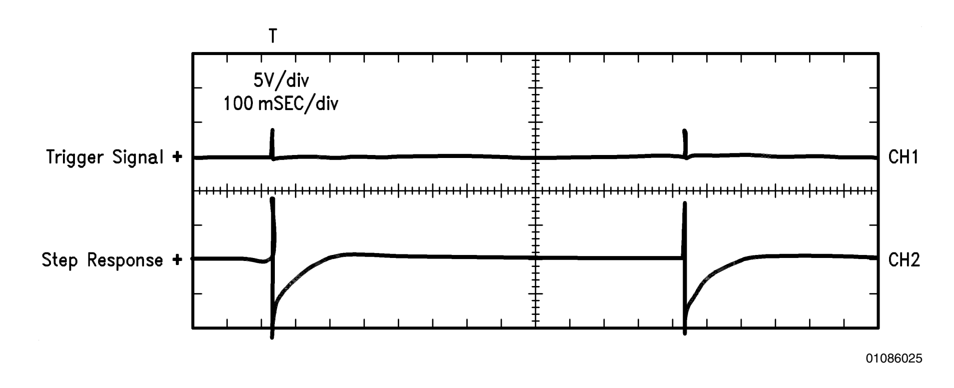


FIGURE 22. The Step Response of an Over Damped Control System

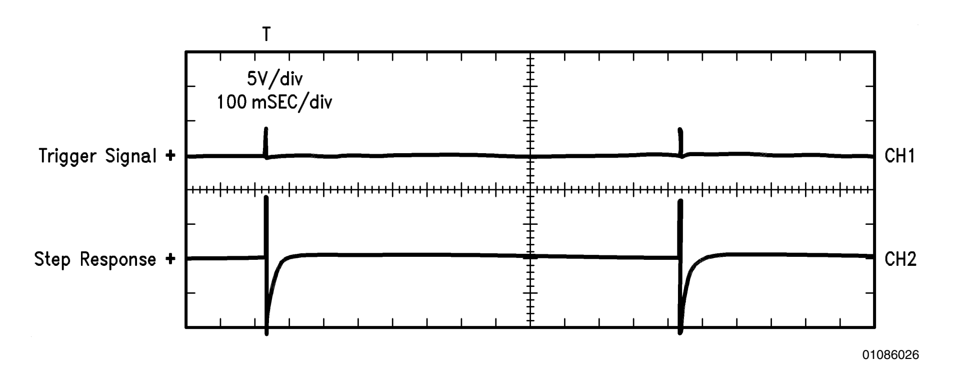


FIGURE 23. The Step Response of a Critically Damped Control System



National Semiconductor Corporation
Americas
Email: support@nsc.com

www.national.com

National Semiconductor Europe
Fax: +49 (0) 180-530 85 86
Email: europe.support@nsc.com
Deutsch Tel: +49 (0) 69 9508 6208
English Tel: +44 (0) 870 24 0 2171
Français Tel: +33 (0) 1 41 91 8790

National Semiconductor Asia Pacific Customer Response Group
Tel: 65-2544466
Fax: 65-2504466
Email: ap.support@nsc.com

National Semiconductor Japan Ltd.
Tel: 81-3-5639-7560
Fax: 81-3-5639-7507